

Treball de Fi de Grau/Màster

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi i dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum

MEMÒRIA

Autor: Alberto Rubial Arias
Director: Oriol Boix Aragonès
Convocatòria: Febrer 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Un dels grans problemes que afecten la població mundial és el canvi climàtic. Aquest, principalment, és conseqüència de l'emissió de gasos a l'atmosfera per part dels humans. En la societat desenvolupada en que vivim l'energia és un bé necessari i molt demandat. Una gran part de l'energia consumida prové dels combustibles fòssils. Tenint en compte la problemàtica actual, el present projecte intenta posar un granet de sorra per combatre aquest problema.

Així doncs, l'objectiu principal d'aquest projecte és dimensionar una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'edifici de la Facultat de Matemàtiques i Estadística (FME) de la UPC. D'aquesta manera es reduirà una part del consum d'energia elèctrica provinent de centrals que emeten gasos que afavoreixen el canvi climàtic i, a més a més, es disminuirà la càrrega de la línia elèctrica ja que aquesta es veurà reduïda per tenir una font generadora a l'edifici. Per a dur terme aquest projecte cal modelitzar el consum de l'edifici, dissenyar la instal·lació i fer un estudi econòmic.

Primerament, es fa un estudi i anàlisi del consum a partir de la informació subministrada per el servei de manteniment del campus Sud la UPC per trobar el patró de consum de l'edifici. D'aquesta manera, un cop es coneix el consum, s'ha procedit a dimensionar la instal·lació.

Tot seguit, s'ha dimensionat la instal·lació per a que el consum de la xarxa sigui el menor possible i que la instal·lació es pugi acollir dins de la modalitat d'autoconsum amb excedents. S'ha dimensionat únicament la part de corrent continu, és a dir, fins arribar als ondulators.

Seguidament, un cop conegut el nombre i el tipus de mòduls i el tipus d'ondulador, s'ha realitzat una simulació de la producció d'energia elèctrica de la instal·lació. Per a aquesta simulació s'ha emprat el programari *PVSyst*.

Finalment, s'ha realitzat un estudi econòmic per a avaluar la inversió. En aquest estudi s'han calculat el valor actualitzat net (VAN), la taxa interna de retorn (TIR) i el *pay back*, és a dir, el temps en que es retorna la quantitat monetària invertida.

Sumari

SUMARI	5
1. INTRODUCCIÓ	7
1.1. Objectius del projecte	7
1.2. Abast del projecte	7
2. ESTAT DE L'ART EN L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA D'AUTOCONSUM	9
2.1. Principi de funcionament	9
2.2. Legislació solar a Espanya	10
3. DIMENSIONAMENT DE LA INSTAL·LACIÓ	13
3.1. Anàlisi del consum	13
3.2. Descripció de l'edifici	15
3.3. Mòdul fotovoltaic	16
3.4. Dimensionament del camp fotovoltaic	18
3.4.1. Selecció de cada una de les cadenes	19
3.4.2. Selecció dels onduladors	20
3.4.3. Agrupació dels mòduls	21
3.5. Sistema de fixació	21
3.6. Dimensionament del cablejat	22
3.6.1. Cablejat de corrent continu	22
3.6.2. Cable de connexió entre mòduls	24
3.7. Proteccions del sistema	26
3.7.1. Sistema de corrent continu	26
3.7.2. Connexió a terra	27
3.8. Canalitzacions i distribució del cablejat	28
3.9. Distribució dels elements de la instal·lació	29
3.10. Descripció dels equips de monitorització	29
4. SIMULACIÓ DE LA PRODUCCIÓ SOLAR	31
4.1. Paràmetres per a la simulació	31
4.2. Resultats de la simulació	32
5. ANÀLISI ECONÒMICA	36
5.1. Tarifa i consums	36
5.2. Corbes de producció i consum mensuals	38
5.3. Pressupost	43

5.4. Descripció de la inversió	43
CONCLUSIONS	45
AGRAÏMENTS	47
BIBLIOGRAFIA	48
Bibliografia complementària	48
ANNEX A: CÀLCULS	49
ANNEX B: PLÀNOLS	51
ANNEX C: FITXES TÈCNIQUES DEL COMPONENTS	52

1. Introducció

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és dimensionar una instal·lació solar fotovoltaica d'autoconsum. Es vol que la instal·lació estigui connectada a la xarxa per quan la demanda energètica del edifici sigui superior a l'energia que genera la instal·lació fotovoltaica. Tot i això, es dimensionarà perquè el consum de la xarxa sigui el menor possible. Coneguda la demanda energètica de l'edifici, es determinarà el nombre de mòduls fotovoltaics necessaris per generar aquesta energia. També es farà una tria del model d'ondulador per convertir el corrent continu en altern i es triaran les característiques del cablejat de la instal·lació des de les plaques fins arribar als ondulators.

Una instal·lació fotovoltaica té un retorn de la inversió relativament curt per tant pot ser una manera per a reduir costos a mitjà o llarg termini. També es vol reduir el consum d'energia elèctrica provinent de centrals generadores que emeten gasos que generen efectes negatius per al nostre planeta.

1.2. Abast del projecte

En el present projecte es planteja el dimensionament de la part de corrent continu de la instal·lació, és a dir, des de que es genera l'energia als panells solar fins que aquesta arriba als ondulators. Això engloba la tria del mòdul, l'orientació d'aquest, el dimensionament dels conductors i la tria dels ondulators. Tot i no dimensionar totes les parts de la instal·lació, es comentaran els elements importants a l'hora de dimensionar una instal·lació d'aquesta índole, com per exemple els elements de protecció. Per a la realització del projecte es tindrà en compte la normativa vigent respecte a l'energia solar fotovoltaica per a facilitar els tràmits administratius i dissenyar una instal·lació que complexi les lleis actuals.

Amb la instal·lació dimensionada es realitzarà una simulació per a extreure les dades de producció i d'aquesta manera veure quina és la producció d'energia solar respecte l'energia consumida de la xarxa. Amb el resultats de producció simulats i el cost de la instal·lació es realitzarà un estudi econòmic per a poder valorar la inversió. En aquest estudi es calcularan paràmetres econòmics com el valor actualitzat net (VAN), la taxa interna de retorn (TIR) o el temps de retorn de la inversió. D'aquesta manera es podrà valorar la inversió de forma objectiva.

2. Estat de l'art en l'energia solar fotovoltaica d'autoconsum

El Sol és la font principal d'energia i és imprescindible per a la vida a la Terra, ja que ens aporta llum i calor. Les principals fonts d'energia que s'utilitzen avui en dia són mitjançant els combustibles fòssils. Aquests contaminen molt i afavoreixen l'efecte hivernacle. En la societat actual, a conseqüència de la modernització, la demanda d'energia és molt gran i, per tant, s'han de trobar maneres alternatives per a produir energia. Si no es troben altres formes per a aconseguir energia el futur del nostre planeta està en risc.

L'alternativa a les fonts d'energia tradicionals són les energies renovables. Dins d'aquest grup es troben l'energia solar, l'energia eòlica, l'energia hidràulica, l'energia geotèrmica, etc. Els principals avantatges de les energies renovables respecte les no renovables són els següents:

- Són respectuoses amb el medi ambient
- Són menys contaminants que les energies d'origen fòssil
- Generen poc residus
- Es poden produir indefinidament
- No tenen un cost directe. Un cop amortitzada la instal·lació, l'energia no té cost directe

En el cas de la península ibèrica, es disposa de molt bona radiació solar i moltes hores de sol, el que permet treure un gran profit de l'energia solar, ja sigui aprofitant la calor o utilitzant la llum per a generar energia elèctrica.

2.1. Principi de funcionament

El principi de funcionament d'una instal·lació solar fotovoltaica d'autoconsum és el següent: els mòduls fotovoltaics transformen l'energia solar en energia elèctrica en forma de corrent continu i, mitjançant un ondulador, es converteix en corrent altern per a poder ser consumit, en aquest cas per l'edifici de la FME. En la superfície on s'instal·len els panells es col·loquen un sensor de irradiància solar i un sensor de temperatura amb l'objectiu de, mitjançant el sistema de monitorització, poder calcular el coeficient de rendiment de la instal·lació en tot moment i poder saber si la instal·lació funciona correctament.

La figura 1 és una esquematització dels components bàsics d'una instal·lació solar d'autoconsum. Es pot veure que la fletxa que uneix el consum amb la xarxa és bidireccional,

això és degut a que si la planta fotovoltaica genera més del que consumeix l'edifici, aquesta energia excedentària és injectada a la xarxa. En cas contrari, es consumiria energia de la xarxa.

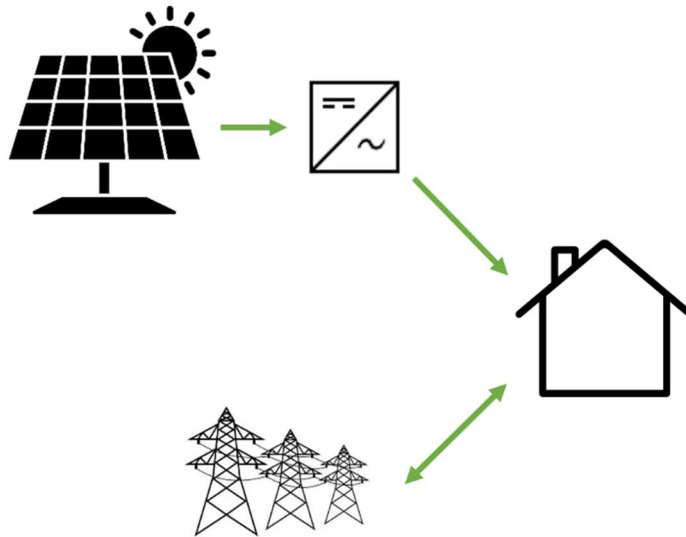


Figura 1. Esquema bàsic d'una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum

2.2. Legislació solar a Espanya

L'objectiu d'aquest apartat és citar, de forma resumida, les principals lleis relacionades amb l'autoconsum d'energia que afecten al present projecte. El 5 d'abril del 2019 es va realitzar una reforma de la Llei 24/2013, de 26 de desembre de 2013. Els canvis més importants que es van realitzar van ser els que es comenten a continuació:

En l'article 4 s'ha realitzat la següent classificació de modalitats d'autoconsum:

- Modalitat de subministrament amb autoconsum sense excedents.
- Modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents.

En la modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents hi ha dues classificacions:

- Modalitat amb excedents aollida a la compensació. Aquesta modalitat engloba els casos en els quals el consumidor i el productor optin per un mecanisme de compensació per excedents. Només podran optar a aquesta modalitat els casos que es compleixin totes les condicions següents:
 - La font d'energia primària ha de ser d'origen renovable
 - La potencia total de les instal·lacions de producció associades no sigui superior a 100 kW
 - Si fos necessari realitzar un contracte de subministrament per al consum associat sigui amb un únic contracte.
 - El consumidor i productor associat tinguin un contracte de compensació d'excedents d'autoconsum definit en l'article 14 d'aquesta llei.
 - La instal·lació de producció no tingui atorgat un règim retributiu adicional o específic
- Modalitat amb excedents no aollida a compensació: En aquesta modalitat pertanyen tots els casos d'autoconsum que no compleixin amb les condicions de la modalitat amb excedents aollida a la compensació o que voluntàriament hagin optat per no acollir-se a aquesta modalitat.

3. Dimensionament de la instal·lació

3.1. Anàlisi del consum

En el present apartat s'explicarà com s'ha creat la corba de consum del propietari de la instal·lació, en aquest cas la Facultat de Matemàtiques i Estadística (FME) de la UPC. Cal notar que es fa una estimació de consums, i per tant pot variar respecte els consums reals, però per a realitzar el dimensionament i els càlculs econòmics de la instal·lació fotovoltaica són suficients per obtenir uns resultats fiables.

Per obtenir la corba de consums es necessita el consum horari per cada dia del any. Per això, s'ha agafat com a referència l'any 2018, ja que l'any actual 2019 encara no sabem els consums dels mesos restants en el moment que s'ha realitzat aquest estudi. L'escenari més favorable seria que el consumidor aportés els consums horaris, però en aquest cas no s'ha tingut accés a aquestes dades. El consumidor ha aportat la factura del mes de desembre de 2018 i les mesures del comptador del 2018. Cal notar, que la factura rebuda engloba els consums de cinc edificis de la UPC, en els quals s'inclou la FME. S'ha fet el supòsit de que els cinc edificis tenen el mateix patró de consum.

Abans de res, s'ha dividit els dies de l'any en dos tipus de dia: feiner i festiu. A cada un del tipus de dia se li ha assignat un consum en funció del consum d'aquell més i el nombre de dies cada tipus d'aquell mes.

Amb la factura de desembre del 2018 s'ha pogut observar que el consum de un dia feiner (CL) es dues vegades i mitja el consum de un dia festiu (CF). D'aquí es genera la primera equació:

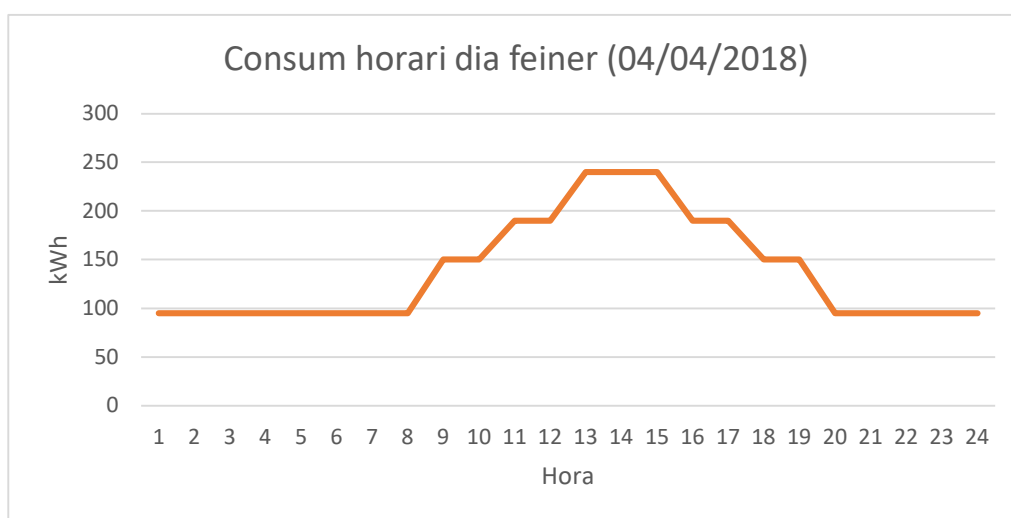
$$CL = 2,5 \cdot CF$$

També sabem que el consum de dia festiu multiplicat per el nombre de dies festius (DF), més el consum de dia feiner multiplicat per el nombre de dies feiners (DL) dona el consum mensual (CM). DL , DF i CM son dades conegudes per a cada mes de l'any. Per tant, obtenim la segona equació:

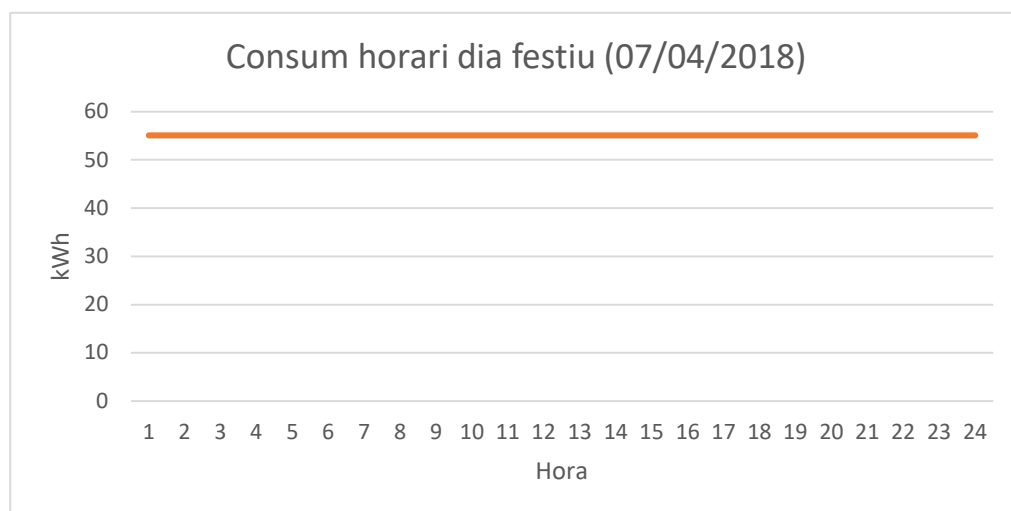
$$CL \cdot DL + CF \cdot DF = CM$$

Per tant, si es resol el sistema d'equacions per a cada mes es pot obtenir el consum diari per a dia festiu i dia feiner de cada mes del any.

Un cop s'obté el consum diari, s'ha d'aconseguir el consum horari per a cada dia. El que s'ha fet es fixar un tant per cent de consum per a cada hora del dia. En el cas de un dia feiner de 0 h a 7 h el consum és constant amb un 3 % del consum diari total. Entre les 8 h i 10 h el consum augmenta, fins assolir un valor constant entre les 10 h i les 16 h amb un 6 % del consum diari total. Entre les 17 h i les 18 h el consum disminueix fins arribar als valors de les primeres hores del dia. Entre les 19 h i les 23 h el consum és un 3 % del consum diari total. En el cas d'un dia festiu, s'ha suposat que el consum es constant durant tot el dia. Al gràfic 1 es pot veure el consum de un dia feiner i un dia festiu qualsevol:



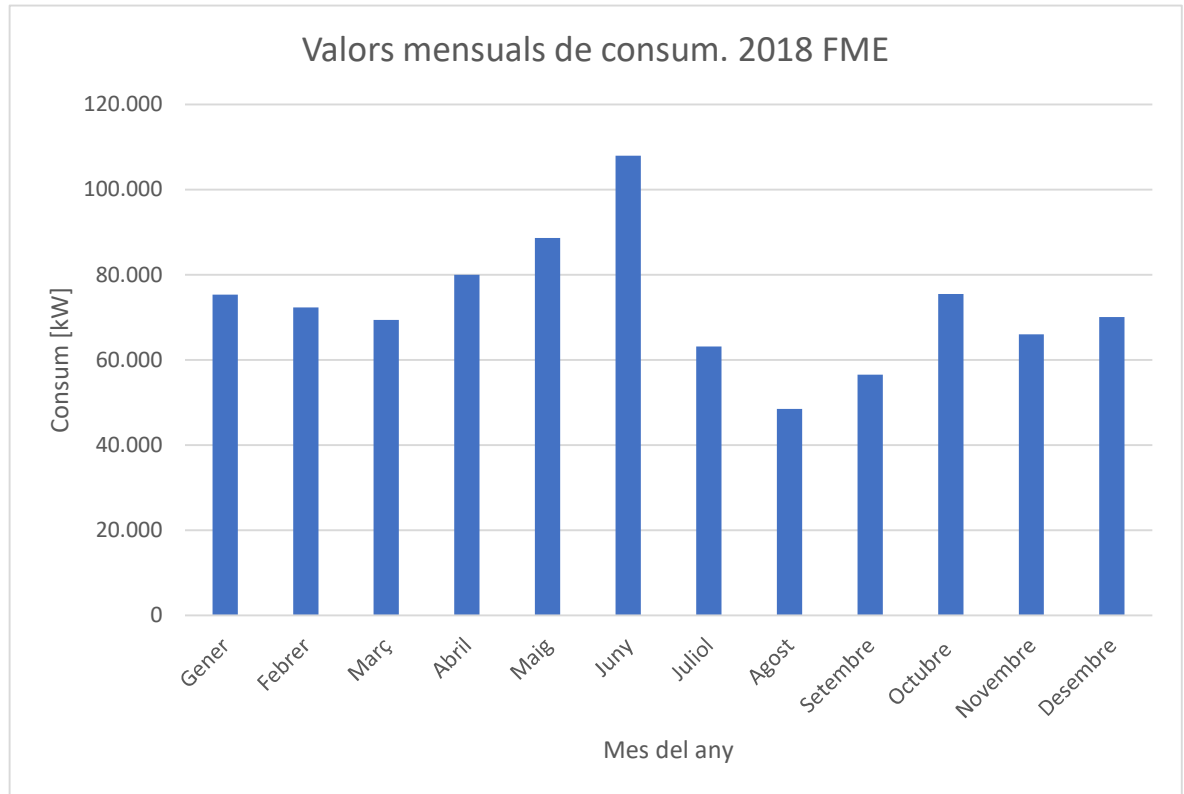
Gràfic 1. Gràfic de consum d'un dia laboral



Gràfic 2. Gràfic de consum d'un dia festiu

D'aquesta manera, ja es té una bona aproximació del consum i es pot procedir a dimensionar la instal·lació fotovoltaica.

En el següent gràfic es pot observar el consum mensual de la facultat de mates i estadística.



Gràfic 3.. Gràfic de consums anuals per mes

3.2. Descripció de l'edifici

L'edifici on es proposa la instal·lació solar fotovoltaica d'autoconsum està ubicat al Carrer de Pau Gargallo, 14, 08028, Barcelona. L'edifici consta de quatre cobertes planes on es podrien col·locar els elements de la instal·lació fotovoltaica. Com es pot observar a la figura 2, les cobertes no tenen molts elements que puguin produir ombres, per tant la superfície útil per a posar mòduls solars és major. Un altre factor degut a la ubicació de l'edifici, que beneficia a l'hora de dimensionar la instal·lació, es que no hi ha edificis ni arbres propers que puguin generar ombra en cap moment del dia, cosa que fa que el temps que la instal·lació fotovoltaica estigui produint sigui major. A la figura 2 es pot observar ombrejat de color taronja la superfície útil per a instal·lar mòduls fotovoltaics.



Figura 2. Ubicació de l'edifici ¹

3.3. Mòdul fotovoltaic

Per triar el mòdul fotovoltaic a utilitzar en la instal·lació, s'ha fet un breu estudi de mercat i s'han seleccionat dos panells: el mòdul Trina Solar de 280 W i el mòdul First Solar - series 4A de 120 W. El primer mòdul triat és de tecnologia policristal·lina i el segon és de tecnologia de capa fina, fet amb tel·lur de cadmi. Per a poder fer una comparació entre els dos mòduls s'ha s'ha realitzat una simulació, tenint en compte la mateixa superfície de captació per als dos tipus de mòduls, per veure els valors de producció. Tot i que el panell de Trina Solar produeix més energia que els First Solar, la producció específica del segon és superior, es a dir, produeix més energia per kWp instal·lat. Els resultats de la simulació es poden trobar al annex A. Això es degut a les característiques que s'explicaran més endavant.

El mòdul fotovoltaic triat per aquest projecte és el FS-series 4. Aquest mòdul està produït per el fabricant líder mundial en panells fotovoltaics, el nord americà First Solar. Un dels factor clau que fa a aquest mòdul superior respecte la resta és la tecnologia de capa fina ja que , a diferencia dels panells poli o mono cristal·lins de cèl·lules de silici, ofereixen un major

¹ Fotografia extreta de Google Earth Pro.

rendiment per superfície instal·lada. A més a més, aquesta tecnologia presenta una sèrie d'avantatges tècnics que les fa superiors. A continuació es farà un recull dels avantatges que presenta aquest tipus de tecnologia:

Garantia i degradació lineal: el mòdul triat presenta una degradació lineal durant els primers 25 anys. El fabricant ofereix una garantia de producte de deu anys.

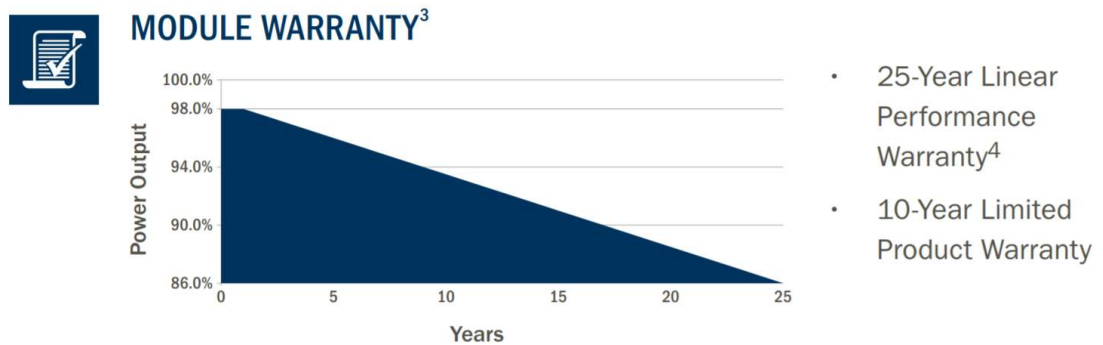


Figura 3. Gràfic de garanties del fabricant [1]

Comportament respecte la temperatura: Un altre avantatge és que el rendiment del mòdul té una menor disminució al augmentar la temperatura. Com es pot veure en la figura quatre, els mòduls de tecnologia de capa fina (First Solar) tenen un rendiment superior a altes temperatures respecte els mòduls policristal·lins.

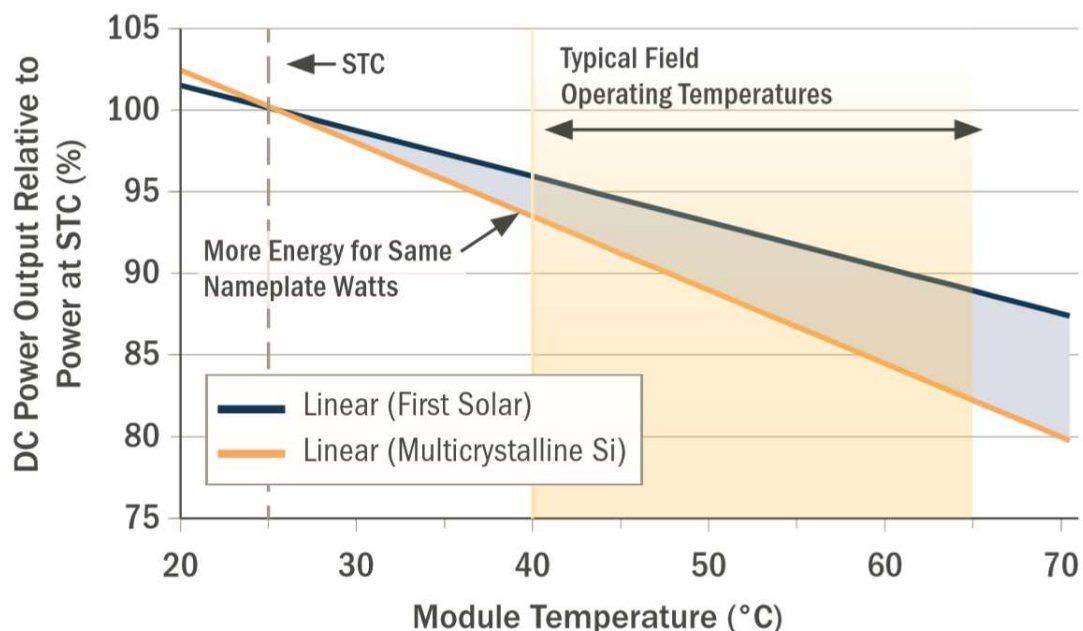


Figura 4. Relació rendiment-temperatura (°C) [1]

Factor de brutícia: Un factor molt important a tenir en compte a l'hora de simular la producció és el factor de brutícia. Si el mòdul presenta pols o elements que no deixin que la radiació solar incideixi al 100 % en el mòdul, la producció es veu disminuïda. Els mòduls triats, al no presentar marcs d'alumini, afavoreixen que no s'acumuli brutícia sobre el panell assegurant una major producció.

Punts de soldadura: Un aspecte significatiu que presenta aquesta tecnologia són els pocs punts de soldadura. Al contrari del que succeeix amb els panells convencionals formats per cel·les de silici, els panells de capa fina no incorporen cap punt de soldadura doncs el corrent circula dins del propi circuit, evitant escalfament en punts concrets que provoquen pèrdues d'energia i també evitant possibles fallides del panell.

A diferència del mòdul FS series 4, el FS series 4A presenta una capa anti-reflectant (ARC, *anti reflectant coating*). Aquesta capa té com a finalitat disminuir l'energia perduda per reflexió i per conseqüent els mòduls tenen un increment en la seva producció.

A més de les característiques esmentades, el model de panell fotovoltaic triat compleix les normatives següents:

- PID-Free, Thresher Test, Long-Term Sequential Test, and ATLAS 25+1
- IEC 61215/61646 1500V, IEC 61730 1500V, CE
- IEC 61701 Salt Mist Corrosion, IEC 60068-2-68 Dust and Sand Resistance
- ISO 9001:2015 and ISO 14001:2015 •
- UL 1703 Listed Fire Performance PV Module Type 102
- CSI Eligible, FSEC, MCS, CEC Listed (Australia), SII, InMetro

A la taula 1 es poden veure algunes característiques de model de mòdul triat.

3.4. Dimensionament del camp fotovoltaic

A l'hora de dimensionar la instal·lació fotovoltaica s'han tingut en compte dos factors: intentar reduir al màxim el consum de la xarxa i que la instal·lació es pugui acollir a la modalitat d'autoconsum amb excedents (instal·lacions menors de 100 kW). En el nostre cas, el factor limitant són els 100 kW.

Taula 1. Característiques del mòdul utilitzat

Característiques del mòdul	
Fabricant	First Solar
Tecnologia	CdTe
Potència nominal	120 Wp
Eficiència	16,6 %
Dimensions	1200 mm x 600 mm x 6,8 mm
Pes	12 kg
Garantia de producció	25 anys (degradació lineal)

El camp fotovoltaic del present projecte està format per mil mòduls fotovoltaics, del model descrit en el anterior apartat, amb una potència total de 120 kWp. Els mòduls estaran distribuïts en cadenes de deu mòduls, connectant posteriorment, 5 cadenes en paral·lel formant un grup de 50 mòduls. Els mòduls estaran connectats a dos inversors de 50 kW de potència nominal. Anomenarem cadena al grup de panells fotovoltaic connectats en sèrie entre ells.

Els mòduls estaran col·locats a 30° d'inclinació respecte l'horitzontal i seguiran l'azimut de edifici (-19° SE). Els mòduls es fixaran a l'estructura metàlica seguint les indicacions del fabricant.

3.4.1. Selecció de cada una de les cadenes

La instal·lació està formada per cent cadenes de deu mòduls cada un. El dimensionament de cada una de les cadenes s'ha realitzat de tal manera que la tensió estigui en el rang de tensions on l'ondulador és capaç de fer seguiment del punt de màxima potència per a optimitzar el funcionament de la instal·lació. Aquest rang està compres entre 550 i 850 V. Per a més informació sobre el ondulador consultar annex C. També s'ha tingut en compte que la intensitat màxima que circularà pugui ser suportada per els onduladors. A la Taula 2 es troben les principals característiques elèctriques d'una cadena.

Taula 2. Característiques elèctriques d'una cadena

Característiques elèctriques	
Nombre de mòduls	10 unitats
Superfície de captació	7,2 m ²
Potència total	1200 Wp
Tensió a màxima potència	708 V
Intensitat a màxima potència	1,7 A
Tensió de circuit obert	887 V
Intensitat de curtcircuit	1,84 A

3.4.2. Selecció dels onduladors

La funció bàsica d'aquest aparell en una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum és convertir el corrent continu generat pels mòduls fotovoltaics a corrent altern. Una característica dels onduladors que es triaran és el seguiment del punt de màxima potència (MPPT, de l'anglès, *maximum power point tracking*.) Aquest concepte vol dir que l'ondulador en tot moment variarà la tensió o la intensitat del grup de mòduls connectat a cada entrada MPPT per a extreure la màxima potència.

Per a poder estar en la modalitat d'autoconsum amb excedents (segons la llei 24/2013 resumida al apartat 2.2 del present projecte) la instal·lació no pot superar els 100kW. Aleshores s'han escollit els onduladors de tal manera que no superin en total els 100 kW de potència nominal. En el present projecte s'ha triat utilitzar dos inversors de 50 kW cada un. El motiu de triar dos de 50 kW en lloc d'un 100 kW és perquè si apareix un problema en alguna part de la instal·lació només afecti a un ondulador i l'altre segueixi treballant en condicions normals. D'altra manera, es pararia tota la instal·lació i la producció seria nul·la.

S'ha decidit utilitzar l'ondulador de 50 kW del fabricant SunGrow, concretament el model SG50CX. Aquest ondulador presenta deu entrades MPPT amb dues connexions per punt, el que vol dir que com a màxim es podrà fer el seguiment del punt de màxima potència a vint grups de mòdul. Un factor a tenir en compte és que els mòduls connectats a cada MPPT han

de tenir la mateixa inclinació i azimuth, sinó aquest seguiment no es realitza satisfactòriament. Tota la informació sobre aquest ondulador es troba a la fitxa tècnica, ubicada a l'annex C. A la taula 3 es poden veure les mòduls associats a cada un dels onduladors seleccionats.

Taula 3. Característiques de l'ondulador

Característiques de l'ondulador			
Nº ondulador	Nº de mòduls assignats	Potencia nominal	Potència pic assignada
1	500	50 kW	60 kWp
2	500	50 kW	60 kWp

3.4.3. Agrupació dels mòduls

Tenint en compte que els onduladors tenen vint entrades de seguiment de punt de màxima potencia, que hi ha 1000 mòduls agrupats en 100 cadenes de 10 i es vol agrupar els mòduls de la manera mes simètrica possible, s'arriba a la conclusió que els mòduls s'han de agrupar en vint grups de 50 mòduls, cada un d'aquets anant a una entrada MPPT dels onduladors

Al annex B es pot trobar un plànol de l'agrupació dels mòduls seguint la següent nomenclatura: "a.b.c". On "a" és l'ondulador al qual està connectat, "b" és la entrada MPPT i "c" és l'entrada física del MPPT.

3.5. Sistema de fixació

Els mòduls aniran col·locats sobre la coberta de l'edifici en una inclinació de 30° respecte al terra mitjançant una estructura autoportant, és a dir, sense perforar la coberta per fixar-la. Per a posicionar els mòduls en la inclinació requerida s'utilitzarà una estructura d'alumini en forma de triangle. En aquesta estructura triangular aniran fixats els perfils on es posaran les grapes per a subjectar els mòduls. La fixació dels mòduls es realitzarà seguint les especificacions establertes pel fabricant i especificades a la fitxa tècnica del mòdul.



Figura 4. Exemple estructura inclinada ²

3.6. Dimensionament del cablejat

3.6.1. Cablejat de corrent continu

Una de les parts més importants a l'hora de dimensionar una instal·lació elèctrica és fer una correcta tria dels conductor que s'utilitzaran. Les principals característiques d'un cable elèctric són el material el qual aïlla el conductor de l'exterior, per evitar curtcircuits a l'entrar en contacte amb altres cables o estructures metàl·liques. Un altre factor important és el material del conductor, usualment s'utilitza el coure o l'alumini, presentant el coure millors propietats en les situacions més típiques com per exemple, és més mal·leable i les unions són més fàcils de realitzar. Una altra característica es la secció, a major secció més corrent suportarà. Si la secció es tria incorrectament el conductor podria sobreescalfar-se fins arribar a produir un incendi. També cal tenir en compte la tensió nominal que suportarà el cable, aquesta ens determinarà el gruix del aïllament.

Hi ha dos tipus principals de aïllaments: els de policlorur de vinil (PVC) i els de polietilè reticulat (XLPE). En la nostra instal·lació només es farà ús de l'XLPE, ja que per normativa s'ha de utilitzar cables lliures de halògens en locals de pública concurrència, que és el cas de la present instal·lació. El XLPE presenta unes característiques elèctriques i tèrmiques millors

² Informació extreta de:

<https://www.supertiendasolar.es/solaronline/eshop/1-1-FOTOVOLTAICA/0/5/722-ESTRUCTURA-COMPLETA-PARA-CUBIERTA-PLANA-4-PLACAS-SOLARES-VERTICALES>

en comparació amb el PVC. Això es deu a que el XLPE és un material de tipus termoestable, és a dir, que una vegada reticulats no canvien les seves característiques en augmentar la temperatura.

Per a dimensionar el cablejat s'han tingut en compte dos factors: que el conductor suporti el corrent, i que la caiguda de tensió de cada un dels grups de cinquanta mòduls no superi l'1,5 %.

Pel que fa l'aspecte del corrent màxim, s'ha seguit del reglament electrotècnic de baixa tensió (REBT) [2], concretament l'ITC-BT-19, ja que la present instal·lació és una instal·lació generadora. El cablejat de la instal·lació és unipolar en contacte mutu dins d'una canal. Els conductor hauran de suportar un corrent de 8,5 A, però hauríem de calcular-los per a 10,625 A en tenir en compte l'1,25 % que diu la normativa. Segons la norma UNE 20460-5-523:2004, coneixent la intensitat que hi circula podem trobar la secció del cables. En el nostre cas, s'haurà de triar la secció d'1,5 mm², que és la mínima admissible. Aquesta secció podria de suportar 21 A a 40 °C, s'ha corregit aquest amperatge per a 50 °C donant un valor de 20,64 A. Per tant, per complir el criteri de màxima intensitat admissible, s'haurà de utilitzar una secció, com a mínim, d'1,5 mm² d'XLPE, ja que el PVC està prohibit per a instal·lacions en edificis pública concurrència.

D'altra banda, s'ha calculat la secció necessària per a que la caiguda de tensió fins als onduldors sigui menor a 1,5 %. Per a realitzar aquest càlcul s'ha tingut en compte la distància del cablejat per a cada grup, la resistivitat lineal del coure, la intensitat i el voltatge de cada grup. Al l'annex A es pot veure una taula amb els càlculs de la caiguda de tensió.

Per a fer les diferents connexions del sistema de cablejat s'ha decidit utilitzar un connector multicontact (MC4), element molt utilitzar per a instal·lacions solars ja que presenta unes característiques aïllants respecte la humitat molt bones i és el tipus de connector que porten els mòduls . Els connector utilitzats per a les diferents unions del cablejat son compatibles únicament amb seccions de 2.5, 4 i 6 mm², per tant les seccions de 1,5 s'han passat a 2.5 per a facilitar el muntatge de la instal·lació.

S'ha triat un conductor del tipus XLPE amb una tensió nominal de 1000 V de secció diferent per a cada grup. A la taula 4 es pot veure la secció seleccionada per a cada un dels vint grups de mòduls.

Taula 4. Secció dels conductors.

GRUP	S [mm ²]	GRUP	S [mm ²]
1.1.1	4	2.1.1	2,5
1.1.2	4	2.1.2	2,5
1.2.1	4	2.2.1	2,5
1.2.2	2,5	2.2.2	6
1.3.1	2,5	2.3.1	6
1.3.2	2,5	2.3.2	6
1.4.1	2,5	2.4.1	6
1.4.2	2,5	2.4.2	6
1.5.1	2,5	2.5.1	6
1.5.2	2,5	2.5.2	6

3.6.2. Cable de connexió entre mòduls

Mirant la distribució de mòduls al apartat 3.9 d'aquest projecte, es pot veure que els grups de 50 mòduls estan distribuïts de dues maneres diferents, excepte el grup 2.2.2. Les anomenarem distribució A i distribució B. Per a connectar les 5 cadenes en paral·lel per a connectar a cada una de les 20 entrades del ondulator s'ha dissenyat un cable de connexió per cada un de les dues distribucions de mòduls, per a la part positiva i negativa del circuit. S'han posat díodes de 5 amperes, ja que d'aquesta manera impedim que corrents no desitjades puguin anar en contra i fer malbé algun mòdul. A continuació a les figures 5 i 6 es pot veure els dos tipus d'agrupació dels mòduls junt amb els seu respectiu cable de connexió. Aquest cables de connexió es demanaran ja fabricats i només farà falta connectar els mòduls. D'aquesta manera s'aconsegueix que el connexionat dels mòduls amb l'ondulator sigui el més simple possible per a que no puguin aparèixer errors a l'hora del muntatge.

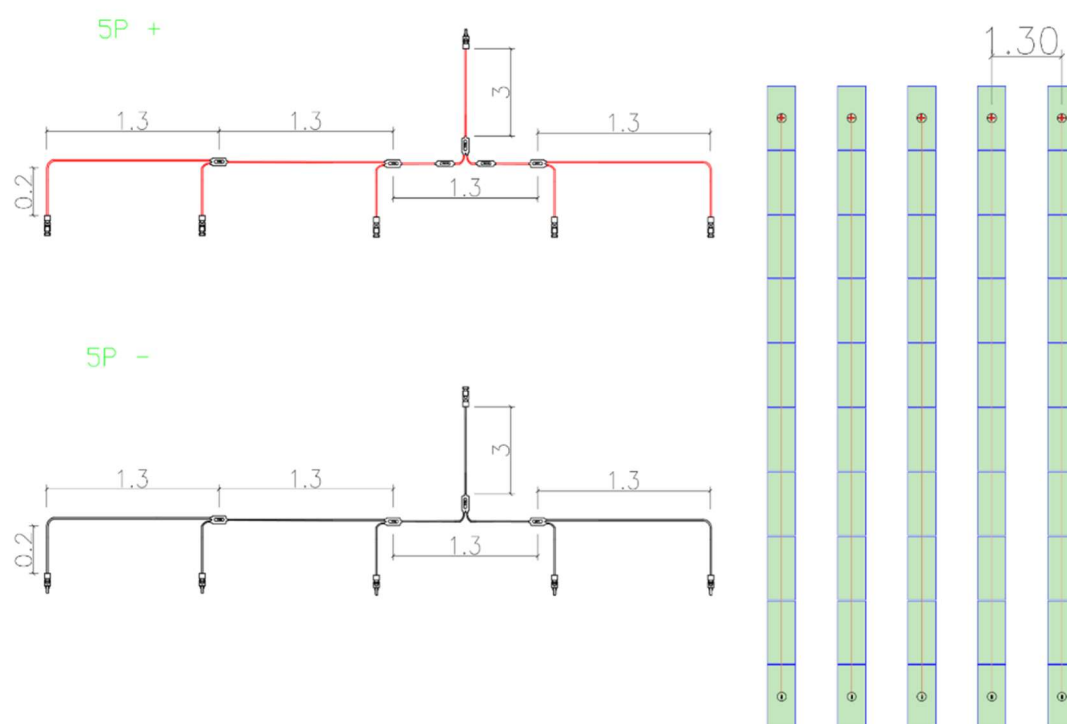


Figura 5. Cable de connexió tipus A

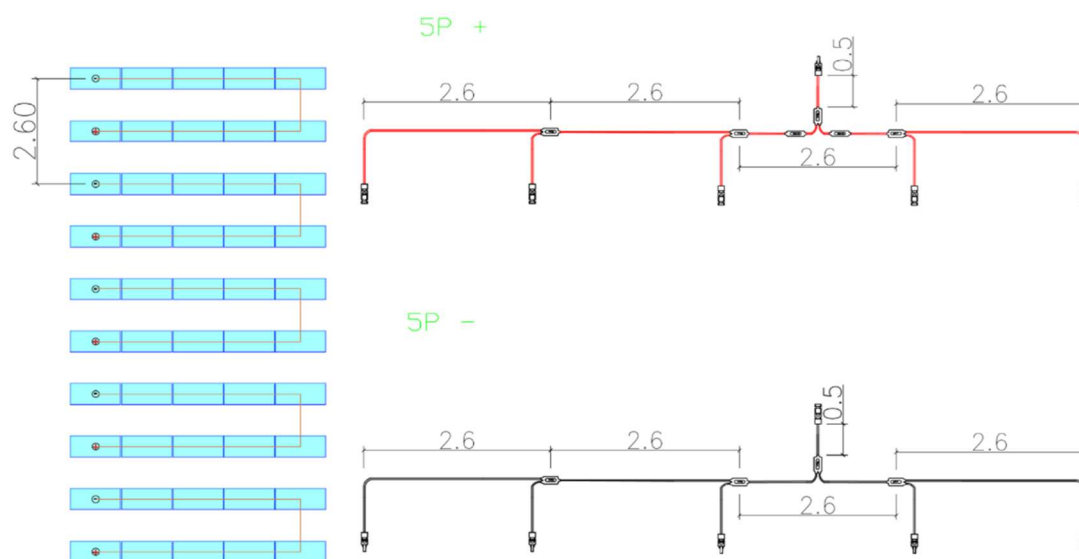


Figura 6. Cable de connexió tipus B

A la taula següent es pot veure cada una de les 20 agrupacions a quin tipus pertanyen.

Taula 5. Tipus de connexió per agrupació

GRUP	TIPUS	GRUP	TIPUS
1.1.1	A	2.1.1	B
1.1.2	A	2.1.2	B
1.2.1	A	2.2.1	B
1.2.2	A	2.2.2	-
1.3.1	A	2.3.1	B
1.3.2	A	2.3.2	B
1.4.1	A	2.4.1	B
1.4.2	B	2.4.2	B
1.5.1	B	2.5.1	B
1.5.2	B	2.5.2	B

3.7. Proteccions del sistema

3.7.1. Sistema de corrent continu

Tot i que en el present projecte no es dimensionarà al detall la part de proteccions, en aquest apartat es tractarà, de forma resumida, algunes de les proteccions que es necessiten per a una instal·lació elèctrica generadora. Els circuits i receptors han de estar protegits contra les següents incidències:

Contactes directes: Contacte de persones o animals amb parts actives dels equips.

Contactes indirectes: Contacte de persones o animals amb parts que s'ha posat en tensió a causa d'una fallada de l'aïllament.

Corrents de sobreintensitat: Són corrents superiors a les nominals que es produeixen en un circuit.

Corrents de curtcircuit: Les intensitats de curtcircuit són sobreintensitats produïdes per un defecte d'impedància, entre dos conductors actius que presenten una diferència de potencial en condicions normals de servei. Es dona un corrent de curtcircuit quan la impedància del conductor és molt petita com a conseqüència d'una falla d'aïllament.

Sobretensions: La sobretensió és una tensió que sobrepassa el valor nominal i pot provocar avaries i accidents en els receptors connectats a aquesta tensió. El origen de les sobretensions poden ser: descàrregues atmosfèriques, contacte amb conductor de tensions superiors, etc.

Subtensions: Si els receptors connectats treballen a tensions inferiors a la nominal, es produeixen deficiències en les seves prestacions i fins i tot produir avaries en els propis receptors.

A la següent taula es poden veure els dispositius de protecció i la seva funció.

Taula 6 Dispositius de protecció i la seva funció

Dispositiu	Protecció que realitza
Fusibles	Contra corrents de curtcircuit
Interruptor automàtic d'efecte magnètic	Contra corrents de curtcircuit
Relé tèrmic	Contra sobreintensitats
Interruptor automàtic de efecte magneto-tèrmic	Contra corrents de curtcircuit Contra sobreintensitats
Interruptor diferencial	Contra els efectes dels corrents derivats a massa per defectes d'aïllament
Descarregador de sobretensions	Contra efectes provinents de sobretensions

3.7.2. Connexió a terra

Per a realitzar la connexió de la instal·lació a terra s'ha seguit la ITC-BT-18: Instal·lacions de connexió a terra.

La connexió a terra es realitza principalment amb l'objectiu de limitar les tensions que, respecte terra, pugin presentar les parts metàl·liques del sistema, assegurant l'actuació dels elements de protecció i disminuir el risc de pèrdua d'aïllament. [6]

La connexió a terra és la unió elèctrica directa d'alguna part del circuit o part conductora de la instal·lació mitjançant un elèctrode o grup d'aquests enterrats a terra. Amb la connexió a terra

es vol aconseguir que en la instal·lació no apareguin diferències de potencial perilloses i, també, que les descàrregues elèctriques d'origen atmosfèric tinguin pas cap a terra.

Per a la present instal·lació s'ha utilitzat, per a fer la connexió a terra, cable sense protecció mecànica de 6 mm² de secció, ja que així ho indica el REBT per a aquest tipus de cables.

3.8. Canalitzacions i distribució del cablejat

Per a portar tot el cablejat des dels mòduls fins als onduladors s'ha d'utilitzar algun tipus de canalització, normalment s'utilitzen tubs o canals protectores. En el present projecte s'ha decidit utilitzar canals protectores ja que s'han de transportar molts cables.

Per a dimensionar aquestes canals protectores s'ha seguit la "ITC-BT-21: Instal·lacions interior o receptores. Tub i canals protectores". Aquesta norma ens fixa les característiques mínimes del material i els requeriments mínims d'instal·lació. Com que el cablejat utilitzat serà de 1000 V, s'haurà d'utilitzar una canal protectora del grau IP4X o superior, classificades com "canals amb tapa que només es pugui obrir amb eina" segons la norma UNE-EN 50085

Pel que fa la instal·lació de la canal s'han de complir les normes UNE 20640-5-52 i les ITC-BT-19 i ITC-BT-20. La traça de les canalitzacions haurà de seguir, sempre que sigui possible, línies verticals, horitzontals o paral·leles a les parets que limiten la zona on s'instal·larà. Com que la canal utilitzada és conductora de l'electricitat, s'ha de connectar a la xarxa de terres de la instal·lació i que la seva continuïtat elèctrica estigui assegurada. La tapa de la canal ha de quedar sempre accessible.

La canal protectora triada per a la present instal·lació és la Rejiband, del fabricant PEMSA. S'ha triat aquest model ja que presenta una continuïtat elèctrica assegurada, no presenta arestes vives i s'estalvia material i mà d'obra al instal·lar-la, respecte d'altres marques. La Rejiband consta de varies mides d'ample i d'alt. S'ha seguit el criteri de què la secció lliure sigui un 60 % respecte del total per assegurar una bona refrigeració dels cables i que hi hagi suficient espai per a poder accedir amb facilitat als conductor interiors de la canal. Com que no passen tots els cables per tots els trams de la canal, s'ha decidit utilitzar canals amb diferents seccions en funció dels cables que han de passar. Cal dir que s'haurà de passar un cable des de la banda esquerra superior fins a la part dreta superior (grup 2.2.2), aquest cable anirà cobert per una protecció corrugada ja que només caldrà passar dos cables i utilitzar una canal protectora seria gastar massa material en comparació amb el cable a passar.

A la figura 10 s'ha indicat el tipus de canal emprat en cada tram, segons el següent codi de colors: 60 x 35 (verd), 100 x 35 (vermell).



Figura 7. Distribució de la canal protectora

3.9. Distribució dels elements de la instal·lació

Un cop conegut el nombre de mòduls, d'onduladors i les característiques físiques d'aquests, cal ubicar els components del sistema adientment per a maximitzar la producció de la instal·lació. A la hora de ubicar els panells s'ha de mirar que no hi hagin objectes a prop que puguin fer ombra en algun moment del dia i que no hi hagin elements que impossibilitin la fixació dels mòduls, com per exemple aparells d'aire condicionat. Per a saber la separació entre les fileres de mòduls s'ha fet la projecció de la ombra per al dia més desfavorable de l'any: el 21 de desembre, el qual el sol està a un angle d'incidència solar de 21 graus.

Al annex B es pot veure la ubicació dels mòduls, els ondulador, la canal, les connexions entre mòduls i la agrupació d'aquest per a entrades del inversor.

3.10. Descripció dels equips de monitorització

Si es vol conèixer en tot moment l'estat de la instal·lació, ja sigui per saber el que s'està produint o per detectar possibles averies, és necessària la utilització d'un sistema de monitorització. Els onduladors de la instal·lació disposen de la possibilitat de connexió de dades mitjançant diferents protocols de comunicació. Si es realitzen les connexions pertinents, és possible accedir a les dades dels onduladors des de un portal web. Aquesta opció és molt útil, ja que el titular de la instal·lació pot saber en tot moment el que s'està produint i l'equip de manteniment pot accedir a les dades de la instal·lació per detectar possibles falles en el

sistema fotovoltaic o, fins i tot, poder solucionar problemes abans que siguin cítrics per al correcte funcionament de la instal·lació.

Per a enregistrar totes les dades de la instal·lació fotovoltaica s'ha optat per usar l'equip de monitorització Blue Log, del fabricant Meteocontrol. Un dels punts favorables d'aquesta tecnologia és la visualització del rendiment de la planta des del portal de monitorització VCOM (centre de control virtual).

Des del portal web VCOM [5] es pot visualitzar el rendiment de la planta, independentment de la ubicació, en qualsevol moment. En cas d'avaría, els errors són detectables ràpidament i es poden resoldre eficientment. La interfície web pot ser ajustada d'acord amb les necessitats de cada usuari. Algunes prestacions que ofereix aquest sistema de monitorització son les següents:

- Informació gràfica de l'estat de la planta
- Gràfics personalitzats
- Comparació dels valors reals amb els simulats
- Dades meteorològiques de la zona (per si no es disposa d'un sensor d'irradiació)
- Dades històriques de la planta

4. Simulació de la producció solar

El càlcul de la producció solar s'ha realitzat mitjançant un conegut *software* molt utilitzat en el sector de l'energia solar, anomenat PVSyst. Aquest *software* s'encarrega, a partir de les dades meteorològiques de la zona, les característiques elèctriques de l'ondulador i dels mòduls fotovoltaics, de calcular la producció per cada dia de l'any i ens retorna els valors de producció per cada mes del any. Les característiques elèctriques dels ondulators i mòduls fotovoltaics s'introdueixen mitjançant un arxiu .ond i .pan, respectivament. Aquest arxius han sigut proporcionats pels fabricants i contenen totes les dades necessàries per a realitzar una simulació precisa. També cal indicar el nombre de panells, la seva inclinació i com estan connectats entre ells.

4.1. Paràmetres per a la simulació

Per a realitzar la simulació es necessiten les dades meteorològiques de la zona on esta situada la instal·lació. Aquesta informació s'ha extret del Photovoltaic Geographical Information System [3] (PVGIS), eina oficial de la Unió Europea que conté informació sobre la radiació solar d'Europa, Àsia i Àfrica. Existeixen diferents bases de dades però s'ha utilitzat la PVGIS-CMSAF, ja que conté la informació d'Europa. Mitjançant aquest portal web s'han extret les dades climatològiques mensuals de la zona entre els anys 2007 i 2016, les dades exactes que necessita el PVSyst són la irradiació solar mensual, el valor de radiació difusa mitjana mensual i la mitjana de temperatures mensuals.

Per a realitzar una simulació el més fidel a la realitat s'han de considerar les pèrdues de la instal·lació. Aquestes pèrdues poden ser de diferents tipus com, per exemple, òhmiques o per brutícia. La majoria d'aquestes pèrdues les calcula el PVSyst automàticament, però n'hi ha d'altres que, o bé s'han de posar manualment o se li ha de donar informació extra per poder-les calcular. Tot i no dimensionar la part de corrent altern (de l'ondulador fins al punt d'injecció) s'han tingut en compte les pèrdues en aquesta part. Per a computar aquestes pèrdues el programa necessita llargada de cable de cada fase i la secció d'aquest. Atès que no es coneix la ubicació del punt d'injecció, s'ha considerat el cas més desfavorable amb una llargada de cable de 150 m i una secció de 95 mm².

Una altra pèrdua molt important que el PVSyst no pot calcular directament són les pèrdues per brutícia. Com que els mòduls estan a la intempèrie, és molt probable que la pols o altres objectes, com fulles, es dipositin sobre la part captadora dels mòduls, fent així baixar el seu rendiment. Com que els mòduls estan a una inclinació de 30° aquestes pèrdues s'han considerat d'un 4 %. Si estiguessin coplanars amb la coberta aquestes pèrdues poden ascendir fins el 6 %.

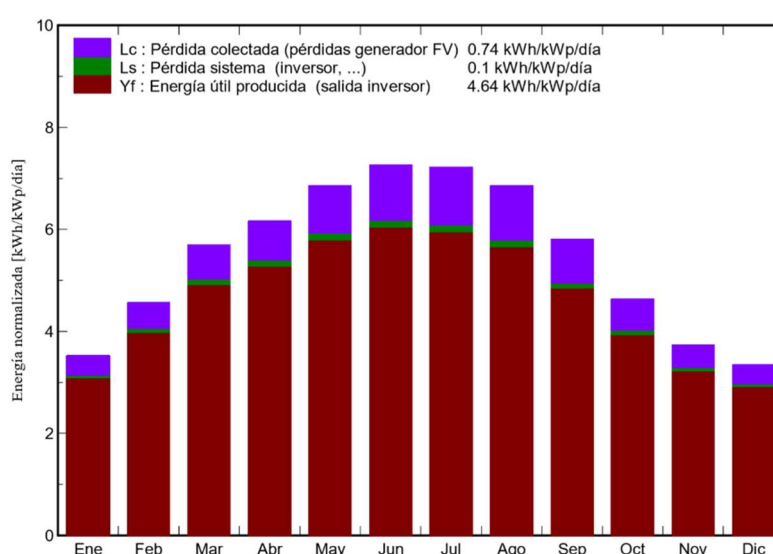
4.2. Resultats de la simulació

Un cop realitzada la simulació, els resultats obtinguts són els següents:

Tabla 7. Resultats principals de la simulació

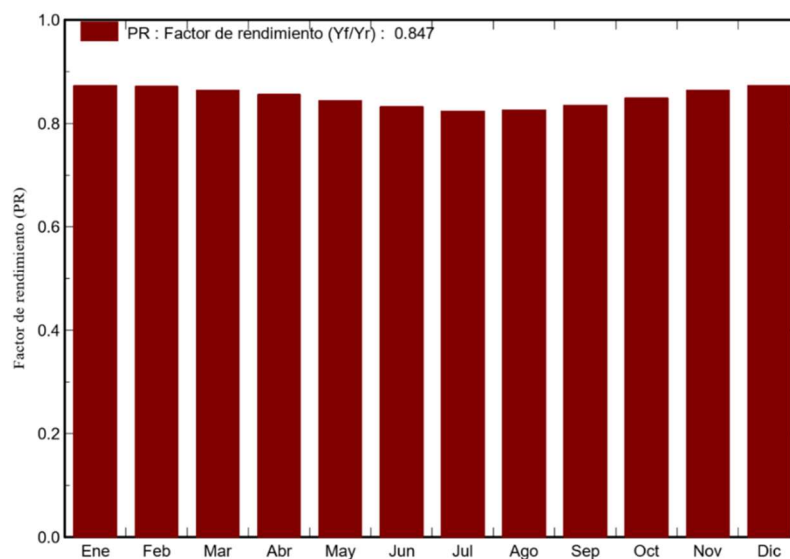
Energia produïda	203253 kWh/any	Producció específica	1694 kWh/kWp/any
------------------	----------------	----------------------	------------------

Al gràfic 4 es pot observar l'energia útil produïda i l'energia perduda en les diferents parts de la instal·lació.



Gràfic 4. Producció i pèrdues de la instal·lació [4]

En el gràfic 5 es pot veure el factor de rendiment (PR) de la instal·lació per mesos. El factor de rendiment (*performance ratio* en anglès) és una magnitud, independent de la ubicació de la instal·lació, que reflexa la qualitat d'una instal·lació fotovoltaica. Aquest factor, que s'indica en percentatge, expressa la relació entre el rendiment real i el rendiment nominal de la instal·lació. És a dir, ens indica l'energia real que es té disponible un cop descomptades les pèrdues energètiques, ja siguin tèrmiques, del cablejat, dels onduladors, etc. Quant més pròxim al 100 % millor, tot i que no es pot assolir un 100 % ja que sempre existeixen pèrdues.



Gràfic 5. Factor de rendiment de cada mes [4]

En la figura 8 es poden veure les pèrdues dels sistema desglossades per tipus.

Diagrama de pérdida durante todo el año

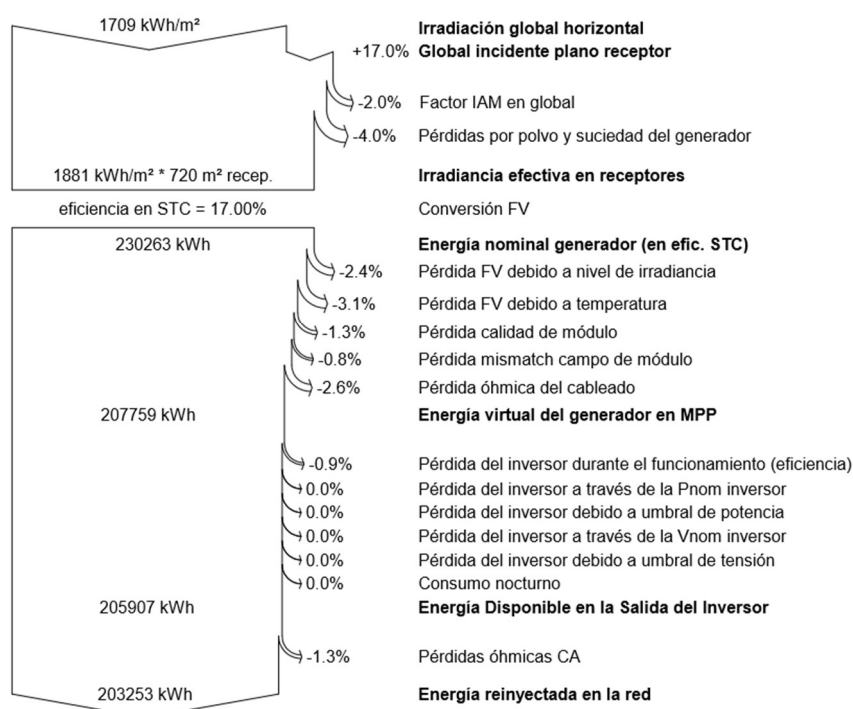


Figura 8. Pèrdues detallades del sistema [4]

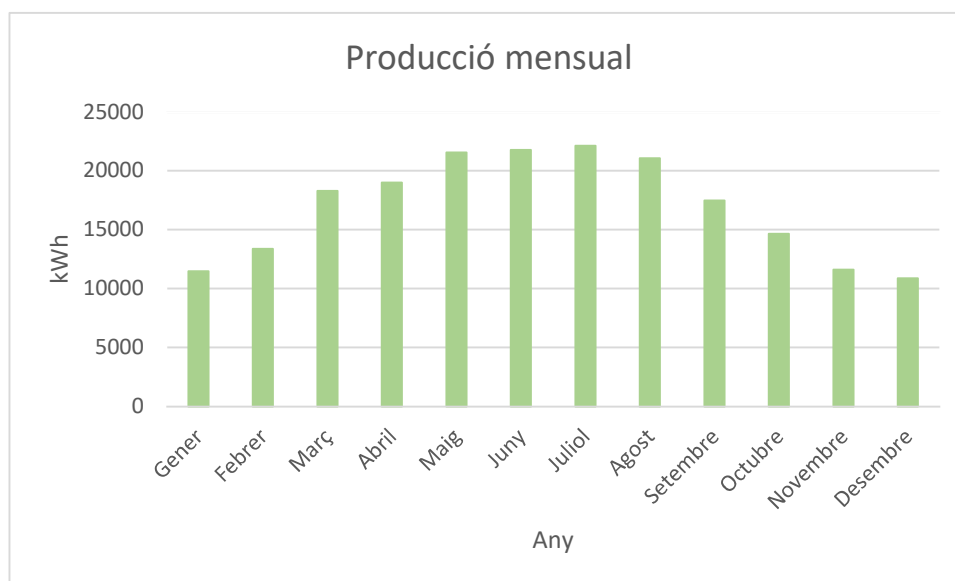
A la taula 8 es pot veure informació rellevant extreta de la simulació.

Taula 8. Resultats de la simulació [4]

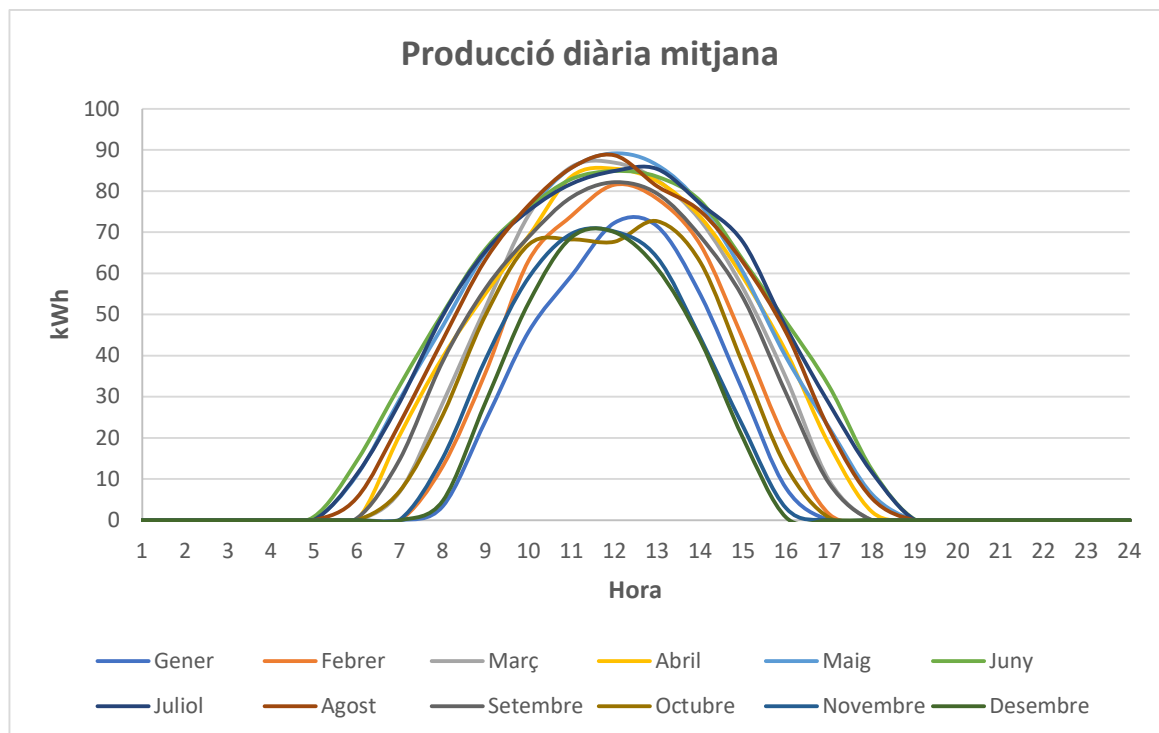
	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	68.0	9.29	109.6	103.4	11717	11480	14.85	14.55
Febrero	87.5	9.47	127.7	120.5	13644	13362	14.84	14.53
Marzo	139.8	11.05	176.5	166.5	18719	18303	14.73	14.40
Abril	166.1	13.43	185.2	174.2	19435	19009	14.58	14.26
Mayo	211.0	16.62	212.8	199.8	22057	21561	14.39	14.07
Junio	226.4	20.68	218.0	204.6	22272	21769	14.19	13.87
Julio	228.8	23.61	223.8	210.0	22640	22128	14.05	13.73
Agosto	199.5	23.62	212.5	200.0	21541	21054	14.08	13.76
Septiembre	145.5	20.92	174.2	163.8	17846	17464	14.23	13.93
Octubre	104.5	17.58	143.8	135.4	14951	14644	14.44	14.14
Noviembre	71.5	12.79	112.0	105.6	11845	11614	14.69	14.40
Diciembre	60.6	9.74	103.7	97.7	11076	10865	14.83	14.55
Año	1709.2	15.77	1999.8	1881.4	207742	203253	14.43	14.12

Legendas: GlobHor Irradiación global horizontal EArray Energía efectiva en la salida del generador
 T Amb Temperatura Ambiente E_Grid Energía reinyectada en la red
 GlobInc Global incidente plano receptor EffArrR Eficiencia Esal campo/superficie bruta
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados EffSysR Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

Com a resum, als gràfics següents es mostra la producció total de la instal·lació dividida per mesos i una corba de producció mitjana diària de cada mes.



Gràfic 6. Producció mensual



Gràfic 7. Corba horària diària mitjana de producció

5. Anàlisi econòmica

5.1. Tarifa i consums

La tarifa contractada és una tarifa d'alta tensió, concretament una tarifa 6.1 A. En aquesta tarifa es factura l'energia consumida en sis períodes. A la taula 9 es pot veure com estan distribuïts aquest períodes. Cada període té un preu per kWh. Aquesta tarifació està definida segons la Circular 3/2014 de 2 de juliol de la CNMC (Comissió Nacional dels Mercats i la Competència), publicada en el BOE de 19 de juliol del 2014.

Taula 9. Períodes de facturació de la tarifa 6.1

Hores/ Mesos	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny (1-15)	Juny (15-30)	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.	Caps de semana
0	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
1	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
2	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
3	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
4	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
7	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
8	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6
9	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P2	P6
10	P1	P1	P4	P5	P5	P3	P2	P2	P6	P3	P5	P4	P1	P6
11	P1	P1	P4	P5	P5	P3	P1	P1	P6	P3	P5	P4	P1	P6
12	P1	P1	P4	P5	P5	P3	P1	P1	P6	P3	P5	P4	P1	P6
13	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P1	P6	P3	P5	P4	P2	P6
14	P2	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P1	P6	P3	P5	P4	P2	P6
15	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P1	P1	P6	P4	P5	P4	P2	P6
16	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P1	P1	P6	P4	P5	P3	P2	P6
17	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P1	P1	P6	P4	P5	P3	P2	P6
18	P1	P1	P3	P5	P5	P4	P1	P1	P6	P4	P5	P3	P1	P6
19	P1	P1	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P1	P6
20	P1	P1	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P1	P6
21	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P3	P2	P6
22	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6
23	P2	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P2	P6	P4	P5	P4	P2	P6

Per al càlcul de l'estalvi s'han tingut en compte els següents preus per període i després se li ha aplicat l'impost elèctric del real decret 15/2018.

Taula 10. Preus de l'energia amb impost inclòs

P1 [€/kW]	P2 [€/kW]	P3 [€/kW]	P4 [€/kW]	P5 [€/kW]	P6 [€/kW]
0,11982	0,10731	0,09541	0,08689	0,08328	0,071871

En la taula següent es pot veure l'energia consumida ordenada per períodes i per mesos.

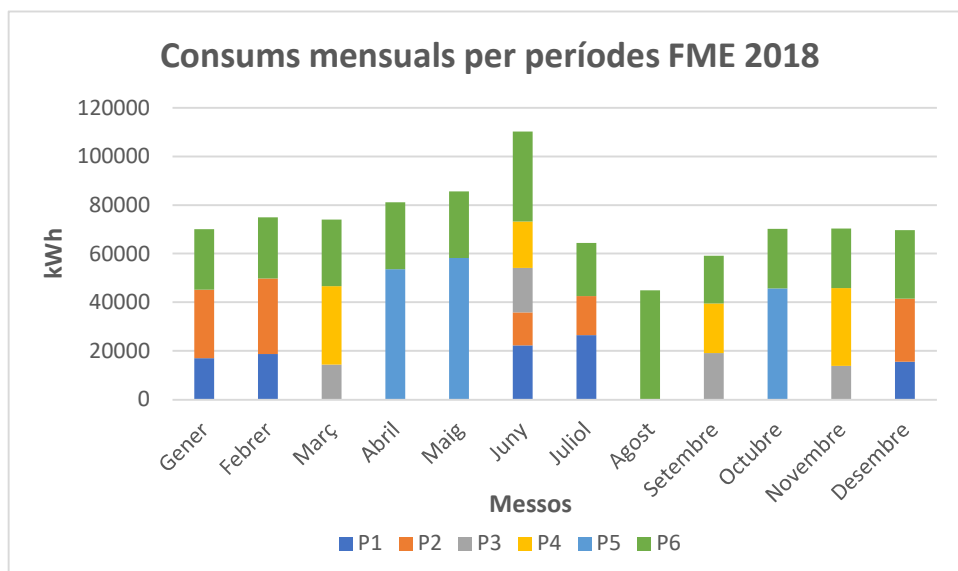
L'obtenció d'aquestes dades està a l'apartat 3.1 del present projecte.

Taula 11. Dades de consum per períodes.

	P1 [kWh]	P2 [kWh]	P3 [kWh]	P4 [kWh]	P5 [kWh]	P6 [kWh]	TOTAL [kWh]	Import [€]
Gener	16976	28221	0	0	0	24820	70016	6846,50
Febrer	18716	31096	0	0	0	25158	74970	7387,91
Març	0	0	14411	32274	0	27305	73990	6142,09
Abril	0	0	0	0	53589	27553	81142	6443,40
Maig	0	0	0	0	58248	27361	85609	6817,61
Juny	22321	13547	18270	19074	0	36964	110176	10185,95
Juliol	26509	16089	0	0	0	21857	64455	6473,99
Agost	0	0	0	0	0	44972	44972	3232,20
Setembre	0	0	19146	20320	0	19627	59093	5003,27
Octubre	0	0	0	0	45666	24524	70190	5565,85
Novembre	0	0	13899	31922	0	24566	70386	5865,70
Desembre	15574	25888	0	0	0	28176	69638	6669,43
TOTAL	100096	114841	65725	103590	157502	332882	874637	76633,90

Amb els preus suposats anteriorment i l'energia consumida s'ha calculat la despesa mensual i anual que suposa l'energia per al titular de la instal·lació. El total anual és de 76633,90 €.

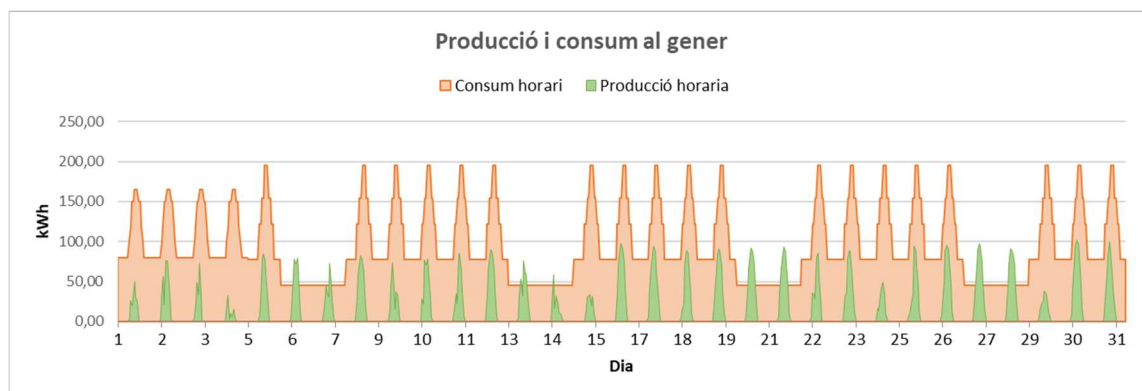
Al gràfic 8 es poden observar els consums mensuals separats per cada període de facturació.



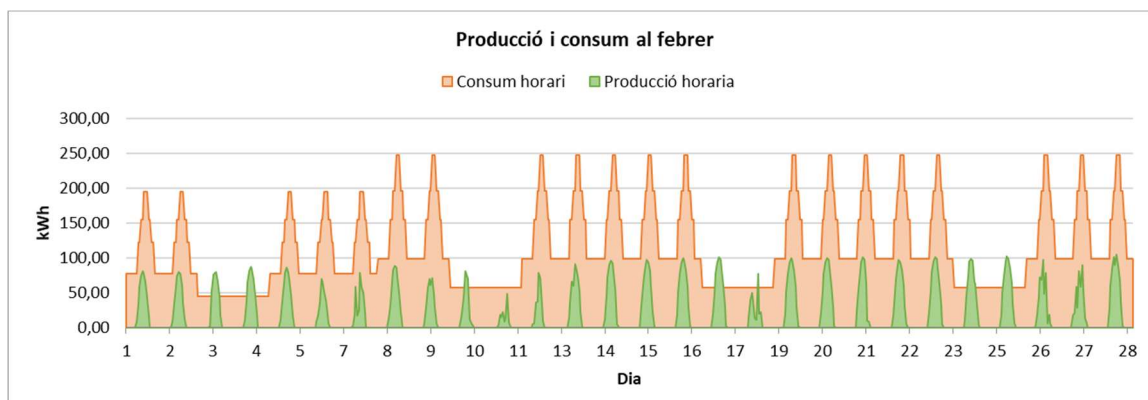
Gràfic 8. Dades de consum mensuals per períodes de facturació

5.2. Corbes de producció i consum mensuals

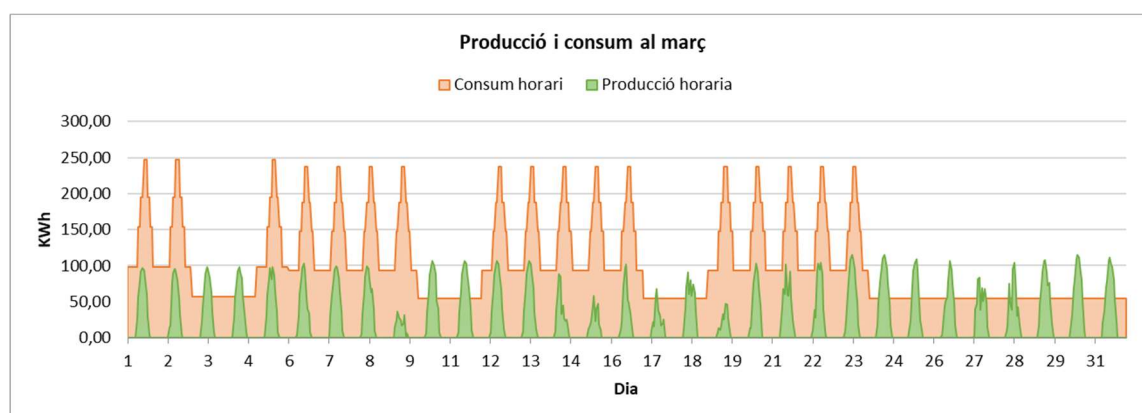
L'objectiu d'aquest apartat és fer una comparativa entre l'energia produïda i l'energia consumida. A continuació es poden observar els gràfics de consum i producció de cada un dels diferents mesos del any.



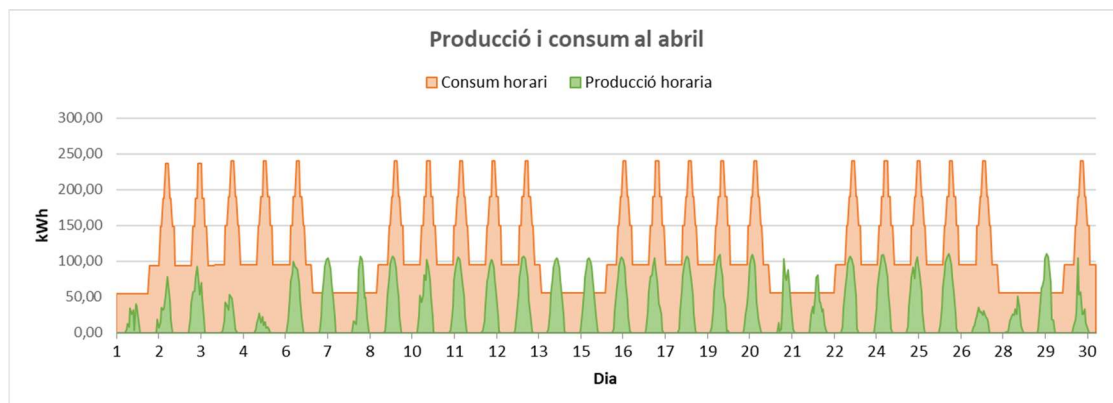
Gràfic 9. Producció i consum al gener



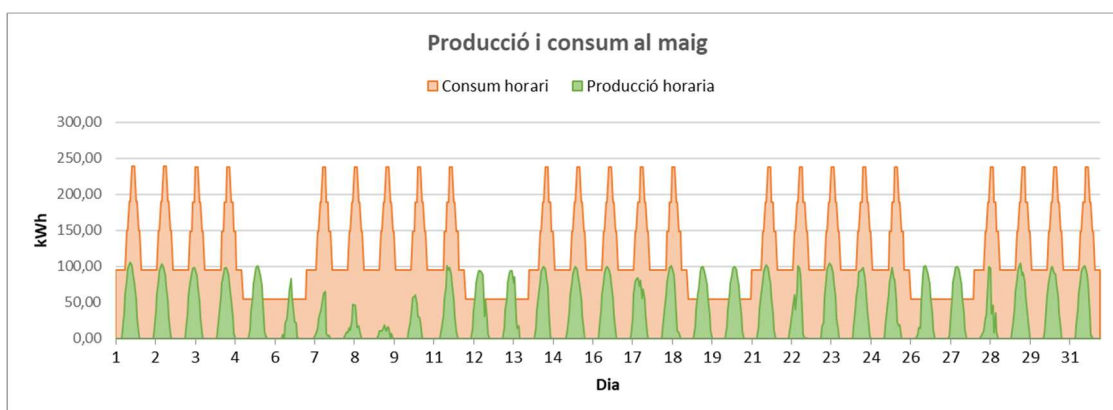
Gràfic 10. Producció i consum al febrer



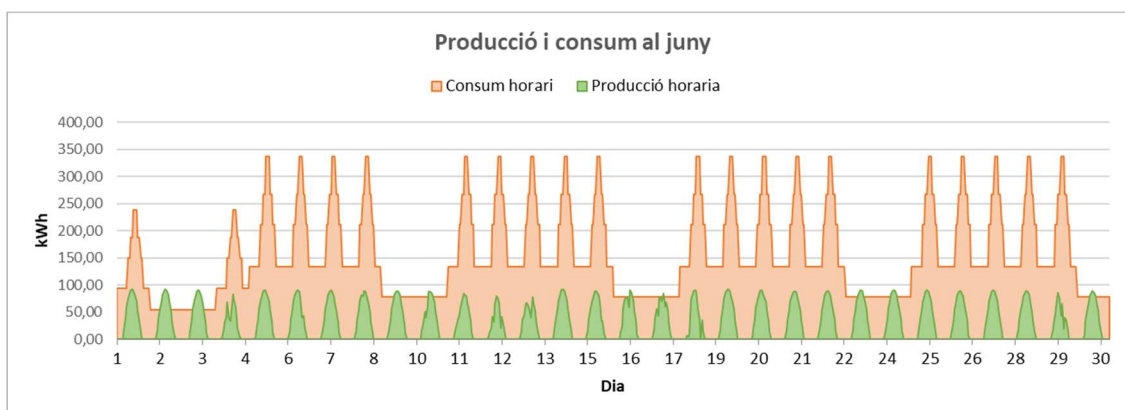
Gràfic 11. Producció i consum al març



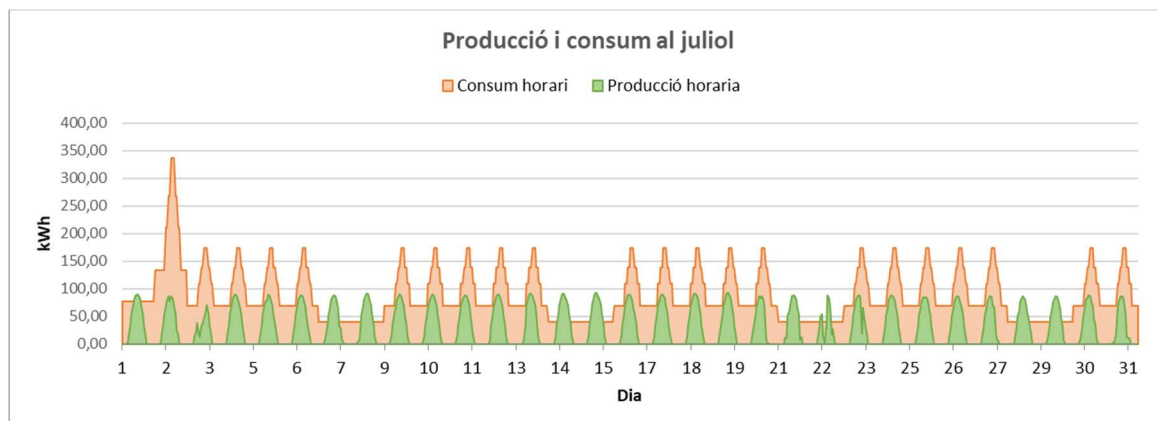
Gràfic 12. Producció i consum al abril



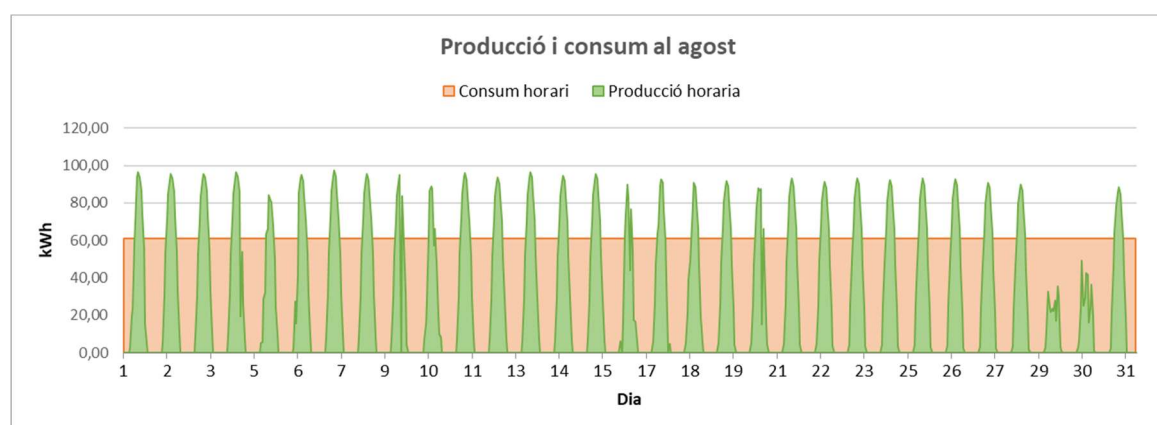
Gràfic 13. Producció i consum al maig



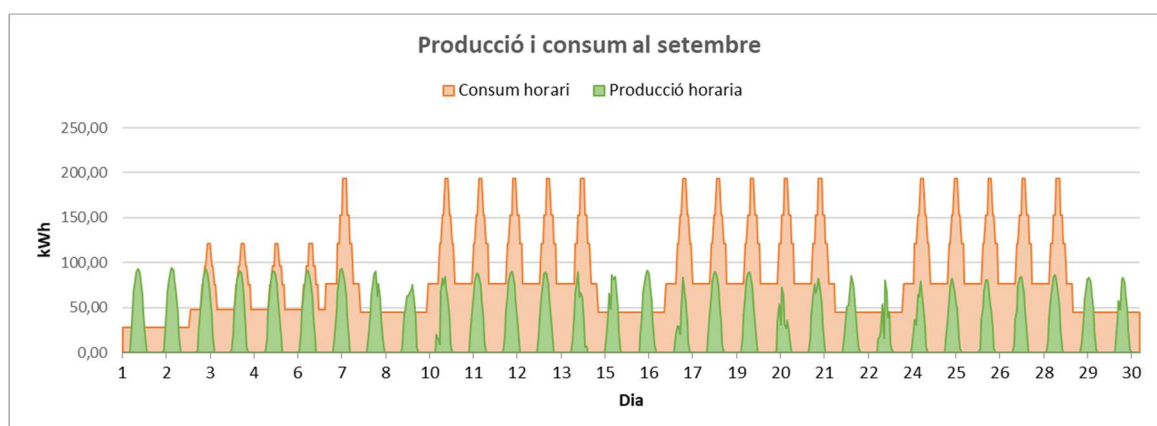
Gràfic 14. Producció i consum al juny



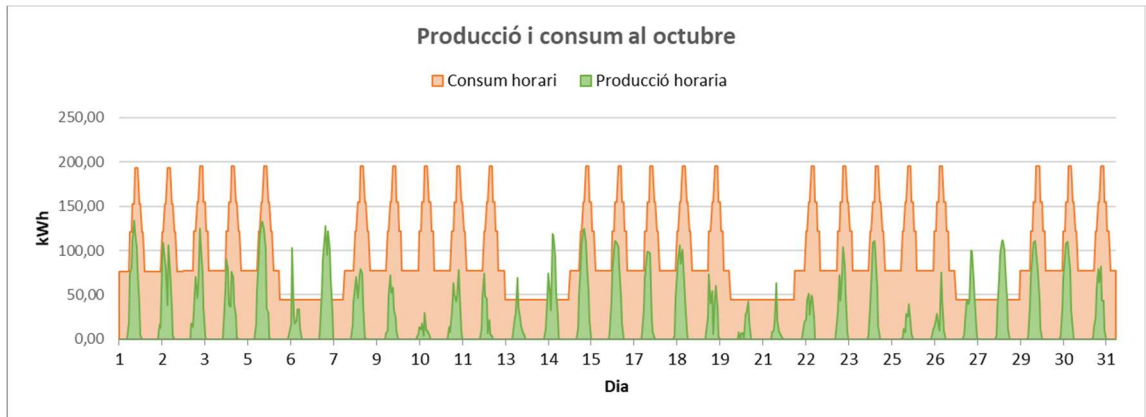
Gràfic 15. Producció i consum al juliol



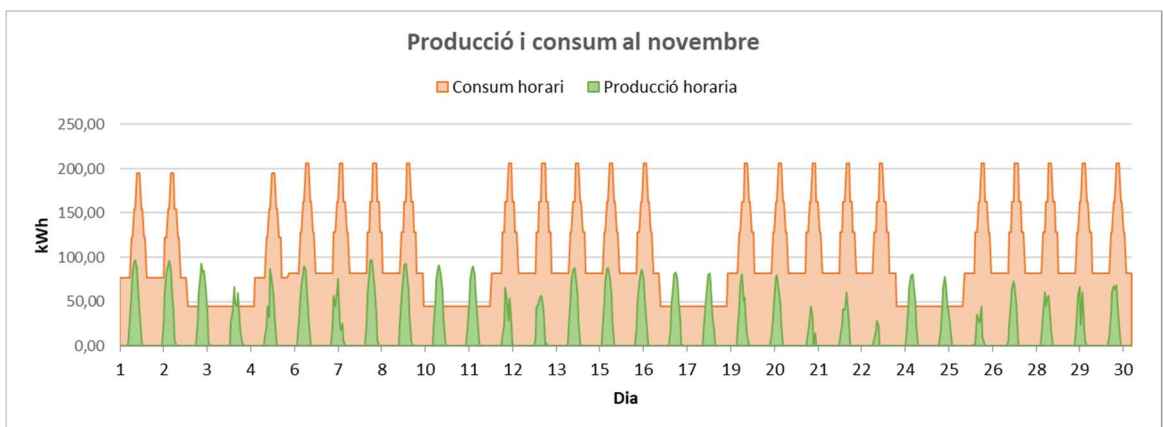
Gràfic 16. Producció i consum al agost



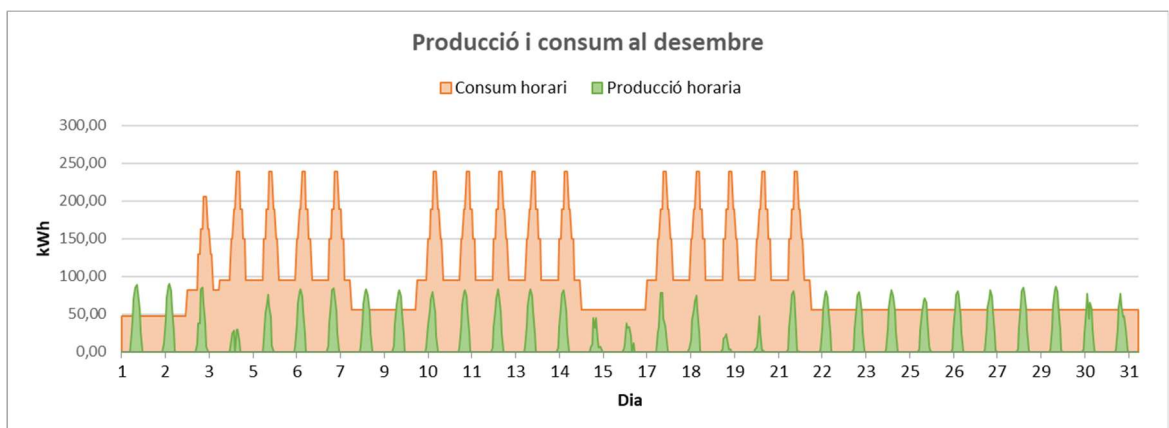
Gràfic 17. Producció i consum al setembre



Gràfic 18. Producció i consum al octubre

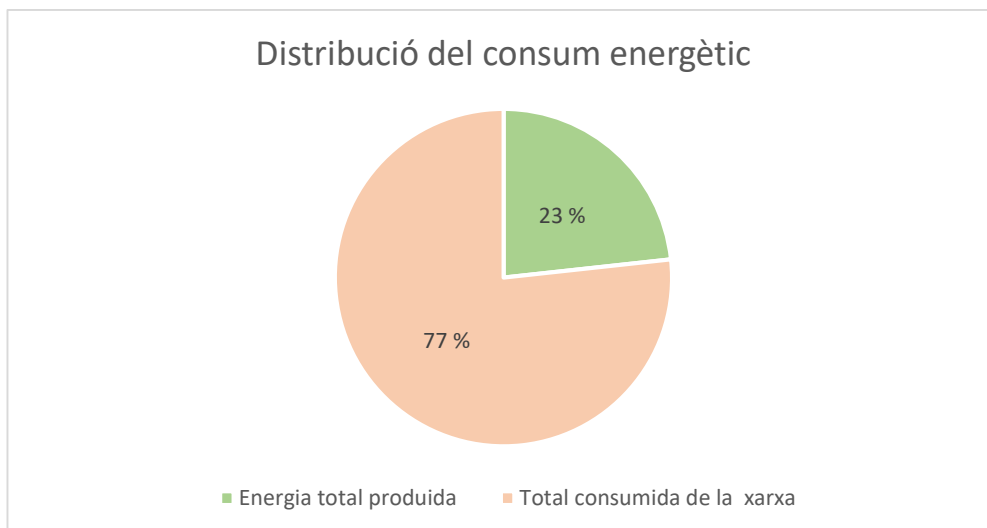


Gràfic 19: Producció i consum al novembre



Gràfic 20. Producció i consum al desembre

Per acabar, al gràfic 21 es pot observar la proporció entre l'energia consumida de la xarxa i l'energia produïda. La instal·lació és capaç de generar un 23 % de la demanda energètica de l'edifici.



Gràfic 21. Distribució del consum energètic

Taula 12. Pressupost del projecte

DESCRIPCIÓ DEL MATERIAL		COST UNITARI	SUBTOTAL
MÒDULS	Unitats	€/unitat	40000 €
FS4120-3	1000	40	40000 €
ONDULADORS	Unitats	€/unitat	5000 €
SG50CX	2	2500	5000 €
ESTRUCTURA			8000 €
CABLEJAT CC	Unitats	€/unitat	2000 €
Cable solar PV1-F NEGRE 2,5 mm ²	400	0,33	132 €
Cable solar PV1-F ROIG 2,5 mm ²	400	0,36	144 €
Cable solar PV1-F NEGRE 4 mm ²	500	0,45	225 €
Cable solar PV1-F ROIG 4 mm ²	500	0,57	285 €
Cable solar PV1-F NEGRE 6 mm ²	250	0,62	155 €
Cable solar PV1-F ROIG 6 mm ²	250	0,63	157,5 €
Conector MC4 (femella)	150	0,98	147 €
Conector MC4 (mascle)	150	0,8	120 €
Cables de connexió prefabricats	38	20	760 €
CANALITZACIONS	Metres	€/m	3500 €
Rejiband 60x35	290	8	2320 €
Rejiband 100x35	120	10	1200 €
ENGINYERIA	Hores	€/h	10000 €
Estudi previ	30	50	1500 €
Dimensionament	65	100	6500 €
Redacció de la memòria	40	50	2000 €
TOTAL Part corrent continu			68500
TOTAL Part corrent altern			26500
TOTAL			95000

5.3. Pressupost

En aquest apartat s'ha fet una estimació del cost total de la instal·lació. Com que no s'ha projectat tota la instal·lació, el cost de la part projectada s'ha multiplicat per un factor de correcció per aproximar-lo al preu que tindria la instal·lació total. Aquest factor s'ha calculat a partir d'informació sobre pressupostos d'instal·lacions fotovoltaïques, on es pot observar que els costos de les partides d'aquest projecte son aproximadament un 70 o 75 % del cost total. D'aquesta manera es té un cost raonable per a poder realitzar els pertinents càlculs per a l'estudi econòmic. A la taula 12 és pot observar el pressupost desglossat.

Com es pot observar a la taula 12, el cost total de la part dimensionada és de 68500 €. Si es realitza l'aproximació citada, el cost total del projecte seria de 95000 €.

5.4. Descripció de la inversió

Per a valorar la inversió s'han calculat tres paràmetres clau a l'hora de valorar una inversió: valor actualitzat net (VAN), taxa interna de retorn (TIR) i temps de retorn. Com a despeses s'han tingut en compte la inversió inicial (cost de la instal·lació) calculada a l'apartat de pressupost i els costos derivats del manteniment preventiu de la instal·lació en els anys 10, 15, 20 i 25 amb un cost de 2000, 1000, 1000, 1000 €, respectivament. Com a ingressos s'ha tingut en compte l'estalvi de l'energia generada, és a dir, el que es deixa de pagar per l'energia consumida que ha sigut generada per la instal·lació fotovoltaica. L'horitzó per als càlculs ha sigut de 25 anys, la vida útil dels components principals. S'ha tingut en compte la pèrdua lineal de producció que presenten els panells, així com un increment anual del cost de l'energia del 2 %. Aquest increment anual de l'energia és un supòsit.

Taula 13. Resultats anàlisi econòmic

Cost instal·lació	95.000 €
Estalvi any 1	17619 €
Estalvi a 25 anys	263613 €
VAN	1131969 €
TIR	13 %
Retorn de la inversió	4 anys i 8 mesos

Respecte al VAN, com el resultat és positiu vol dir que el projecte és viable i que generarà beneficis. El valor del TIR és un valor raonable que reflexa que la inversió seria rendible des d'un punt de vista econòmic. El temps de retorn d'aquest projecte és de quatre anys i vuit mesos, això vol dir que al vuitè mes del quart any s'haurà retornat el valor complet de la inversió, en aquest cas 95000 €. Al gràfic 22 es pot veure l'evolució del flux de tresoreria durant els 25 anys que s'ha agafat com a horitzó de la inversió. Al annex A es pot veure una taula amb el flux de tresoreria.



Gràfic 22. Flux de tresoreria durant 25 anys

Conclusions

A continuació, un cop finalitzat el projecte, es proposen possibles millores i maneres de continuar el present projecte, i es presenten les conclusions.

Un futur treball a realitzar seria, coneixent tota la informació necessària sobre l'edifici, la continuació d'aquest projecte fent els càlculs pertinents de la part de corren altern, els càlculs relacionats amb l'estructura i, fins i tot, mirar més a fons els temes relacionats amb la legalització de la instal·lació.

Al desembre de 2019 es va publicar al Butlletí Oficial de l'Estat, una ampliació sobre la producció d'energia fotovoltaica amb excedents. En un possible treball futur es podria tenir en compte la nova llei.

Una primera conclusió és que la instal·lació dimensionada proporciona un 23 % de l'energia elèctrica consumida per l'edifici de la Facultat de Matemàtiques i Estadística en un any. Amb aquesta reducció, s'aconsegueix disminuir les emissions de diòxid de carboni derivades del consum energètic, ja que una part de l'energia consumida prové dels mòduls fotovoltaics.

Amb l'estudi econòmic es pot arribar a la conclusió que invertir en una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum no només és beneficiós per al medi ambient, sinó que també implica una reducció en els costos operacionals del centre. D'aquesta manera, la FME tindrà més recursos econòmics disponibles per a millorar la qualitat de les instal·lacions. Per tant, el present projecte també suposa una millora per als estudiants de la FME.

Com a conclusió final, amb aquest projecte es pot veure com es podria ajudar a reduir el canvi climàtic sense fer grans esforços i, fins i tot, generar beneficis socials i econòmics.

Agraïments

Primer de tot, m'agradaria donar les gràcies al tutor d'aquest projecte, Oriol Boix, per guiar-me a desenvolupar aquest treball amb èxit.

També voldria donar les gràcies al meu amic Adrià Esplandiú per l'ajuda donada quan he tingut problemes.

Finalment, també vull donar les gràcies als meus amics i familiars per tot el suport donat durant aquest últims mesos, sense ells tot hagués sigut més dur.

Bibliografia

- [1] First Solar. First Solar Series 4™ PV Module. [Consulta: novembre 2019]. Disponible a: <<http://www.firstsolar.com/en-EMEA/-/media/First-Solar/Technical-Documents/Series-4-Datasheets/Series-4V3-Module-Datasheet.ashx>>
- [2] *Reglamento electrotécnico para baja tension e ITC*. [Actualitzat el 30 de novembre de 2019]. [Constlta: novembre 2019]. Disponible a: <<http://www.iet.es/wp-content/uploads/2013/03/REGLAMENTO-RBT-SEPT-2003.pdf>>
- [3] European commission. *Photovoltaic Geographical Information System* [en línia]. [Consulta: novembre 2019]. Disponibe a: <<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>>
- [4] Logiciel Photovoltaïque. *PVSyst*. [Programari]. [Conuslta: novembre 2019]. Disponible a: <<https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>>
- [5] Meteocotrol. *VCOM*. [en línia]. [Consulta: novembre 2019] Disponible a: <<https://www.meteocontrol.com/es/monitorizacion-de-sistemas-fotovoltaicos/productos/vcom-cloud/>>
- [6] Jose Roldan Viloría. *Energías renovables: lo que hay que saber*. Madrid: EDICIONES PARANINFO, 2013. ISBN: 9788428329682.

Bibliografia complementària

Jose Roldan Viloría. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: EDICIONES PARANINFO, 2010. ISBN: 9788428332033.

Roque Calero Perez. *Centrales de energías renovables*. Madrid: PRENTICE-HALL, 2012. ISBN: 9788483229972.

ANNEX A: Càlculs

Taula càlculs de les seccions de cada agrupació de mòduls.

Grup	Moduls en serie	Stringns pararel	I[A]	U [V]	L [m]	r [ohm *mm^2*m^-1]	S [mm^2]	Sreal	cdt [%]
1.1.1	10	5	10,625	708	95	0,0179	3,39	4	1,5
1.1.2	10	5	10,625	708	85	0,0179	3,04	4	1,5
1.2.1	10	5	10,625	708	75	0,0179	2,68	4	1,5
1.2.2	10	5	10,625	708	65	0,0179	2,32	2,5	1,5
1.3.1	10	5	10,625	708	55	0,0179	1,97	2,5	1,5
1.3.2	10	5	10,625	708	45	0,0179	1,61	2,5	1,5
1.4.1	10	5	10,625	708	35	0,0179	1,25	1,5	1,5
1.4.2	10	5	10,625	708	20	0,0179	0,71	1,5	1,5
1.5.1	10	5	10,625	708	30	0,0179	1,07	1,5	1,5
1.5.2	10	5	10,625	708	65	0,0179	2,32	2,5	1,5
2.1.1	10	5	10,625	708	25	0,0179	0,89	1,5	1,5
2.1.2	10	5	10,625	708	40	0,0179	1,43	1,5	1,5
2.2.1	10	5	10,625	708	55	0,0179	1,97	2,5	1,5
2.2.2	10	5	10,625	708	165	0,0179	5,90	10	1,5
2.3.1	10	5	10,625	708	160	0,0179	5,72	6	1,5
2.3.2	10	5	10,625	708	160	0,0179	5,72	6	1,5
2.4.1	10	5	10,625	708	145	0,0179	5,18	6	1,5
2.4.2	10	5	10,625	708	130	0,0179	4,65	6	1,5
2.5.1	10	5	10,625	708	130	0,0179	4,65	6	1,5
2.5.2	10	5	10,625	708	145	0,0179	5,18	6	1,5

Taula dels fluxos acumulats de tresoreria.

ANY	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Despeses	95000	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos	0	17619,6949	16667,6414	16574,3026	16481,4865	16389,1902	16297,411	16206,1452	16115,3908
Tresoreria	0	-77380,305	-60712,664	-44138,361	-27656,875	-11267,684	5029,7263	21235,8715	37351,2623
ANY	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Despeses	0	-2000	0	0	0	0	-1000	0	0
Ingresos	16025,14461	15935,4038	15846,1655	15757,427	15669,1854	15581,438	15494,182	15407,4145	15321,133
Tresoreria	53376,4069	67311,8107	83157,9762	98915,4032	114584,589	130166,027	144660,21	160067,623	175388,756
ANY	18	19	20	21	22	23	24	25	
Despeses	0	0	-1000	0	0	0	0	-1000	
Ingresos	15235,33464	15150,0168	15065,1767	14980,8117	14896,9191	14813,4964	14730,541	14648,0498	
Tresoreria	190624,0907	205774,107	219839,284	234820,096	249717,015	264530,511	279261,05	293991,593	

PVSYST V6.43					10/12/19	Página 1/4
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación						
Proyecto :		FME				
Lugar geográfico		FME		País	España	
Ubicación		Latitud	41.4°N	Longitud	2.1°E	
Hora definido como		Hora Legal	Huso hor. UT	Altitud	1 m	
		Albedo	0.20			
Datos climatológicos:		FME	PVGIS CM SAF, satélite 1998-2011 - Síntesis			
Variante de simulación : FS-120/30°						
			Fecha de simulación	10/12/19 19h06		
Parámetros de la simulación						
Orientación Plano Receptor		Inclinación	30°	Acimut	-19°	
Modelos empleados		Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm	
Perfil obstáculos		Sin perfil de obstáculos				
Sombras cercanas		Sin sombreado				
Características generadores FV (2 Tipo de generador definido)						
Módulo FV		CdTe	Modelo	FS-4120-3 May 2015		
Custom parameters definition			Fabricante	First Solar		
Sub-generador "Sub-generador #1"						
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	50 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos	500	Pnom unitaria	120 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC)	60.0 kWp	En cond. funciona.	56.9 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	682 V	I mpp	83 A	
Sub-generador "Sub-generador #2"						
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	50 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos	500	Pnom unitaria	120 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC)	60.0 kWp	En cond. funciona.	56.9 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	682 V	I mpp	83 A	
Total	Potencia global generadores	Nominal (STC)	120 kWp	Total	1000 módulos	
		Superficie módulos	720 m²	Superf. célula	676 m²	
Inversor						
Custom parameters definition			Modelo	SG50CX		
			Fabricante	Sungrow		
Características		Tensión Funciona.	200-1000 V	Pnom unitaria	50 kWac	
				Potencia máx. (>=40°C)	55 kWac	
Sub-generador "Sub-generador #1"		N° de inversores	5 * MPPT 20 %	Potencia total	50 kWac	
Sub-generador "Sub-generador #2"		N° de inversores	5 * MPPT 20 %	Potencia total	50 kWac	
Total		N° de inversores	2	Potencia total	100 kWac	
Factores de pérdida Generador FV						
Pérdidas por polvo y suciedad del generador			Fracción de Pérdidas	4.0 %		
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado		Generador#1	546 mOhm	Fracción de Pérdidas	6.0 % en STC	
		Generador#2	137 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC	
		Global		Fracción de Pérdidas	2.4 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas	1.3 %	
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas	0.8 % en MPP	

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación (continuación)

Efecto de incidencia, perfil definido por

0°	30°	50°	60°	65°	70°	75°	80°	90°
1.00	1.00	0.99	0.98	0.94	0.89	0.82	0.69	0.00

Factores de pérdida del sistema

Pérdida Óhmica en el Cableado Cables: 3x95.0 mm² 150 m Fracción de Pérdidas 2.3 % en STC

Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red)

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : FME

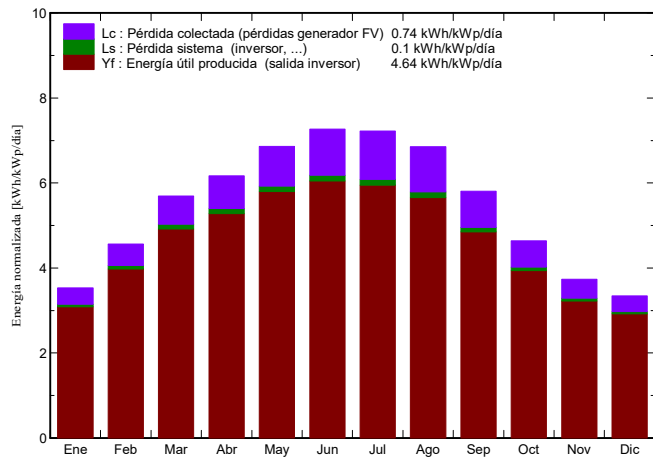
Variante de simulación : FS-120/30°

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV		inclinación	30°	acimut -19°
Módulos FV		Modelo	FS-4120-3 May 2015	Pnom 120 Wp
Generador FV		N° de módulos	1000	Pnom total 120 kWp
Inversor		Modelo	SG50CX	Pnom 50.0 kW ac
Banco de inversores		N° de unidades	2.0	Pnom total 100 kW ac
Necesidades de los usuarios		Carga ilimitada (red)		

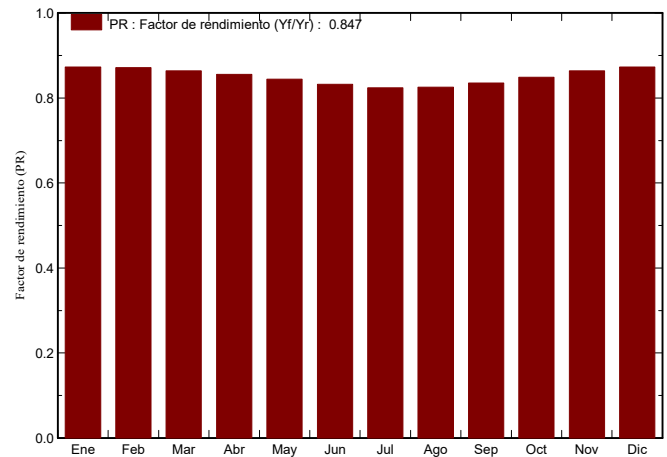
Resultados principales de la simulación

Producción del Sistema	Energía producida	203253 kWh/año	Produc. específico	1694 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	84.7 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 120 kWp



Factor de rendimiento (PR)



FS-120/30°

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	68.0	9.29	109.6	103.4	11717	11480	14.85	14.55
Febrero	87.5	9.47	127.7	120.5	13644	13362	14.84	14.53
Marzo	139.8	11.05	176.5	166.5	18719	18303	14.73	14.40
Abril	166.1	13.43	185.2	174.2	19435	19009	14.58	14.26
Mayo	211.0	16.62	212.8	199.8	22057	21561	14.39	14.07
Junio	226.4	20.68	218.0	204.6	22272	21769	14.19	13.87
Julio	228.8	23.61	223.8	210.0	22640	22128	14.05	13.73
Agosto	199.5	23.62	212.5	200.0	21541	21054	14.08	13.76
Septiembre	145.5	20.92	174.2	163.8	17846	17464	14.23	13.93
Octubre	104.5	17.58	143.8	135.4	14951	14644	14.44	14.14
Noviembre	71.5	12.79	112.0	105.6	11845	11614	14.69	14.40
Diciembre	60.6	9.74	103.7	97.7	11076	10865	14.83	14.55
Año	1709.2	15.77	1999.8	1881.4	207742	203253	14.43	14.12

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	T Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	GlobInc	Global incidente plano receptor	EffArrR	Eficiencia Esal campo/superficie bruta
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EffSysR	Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

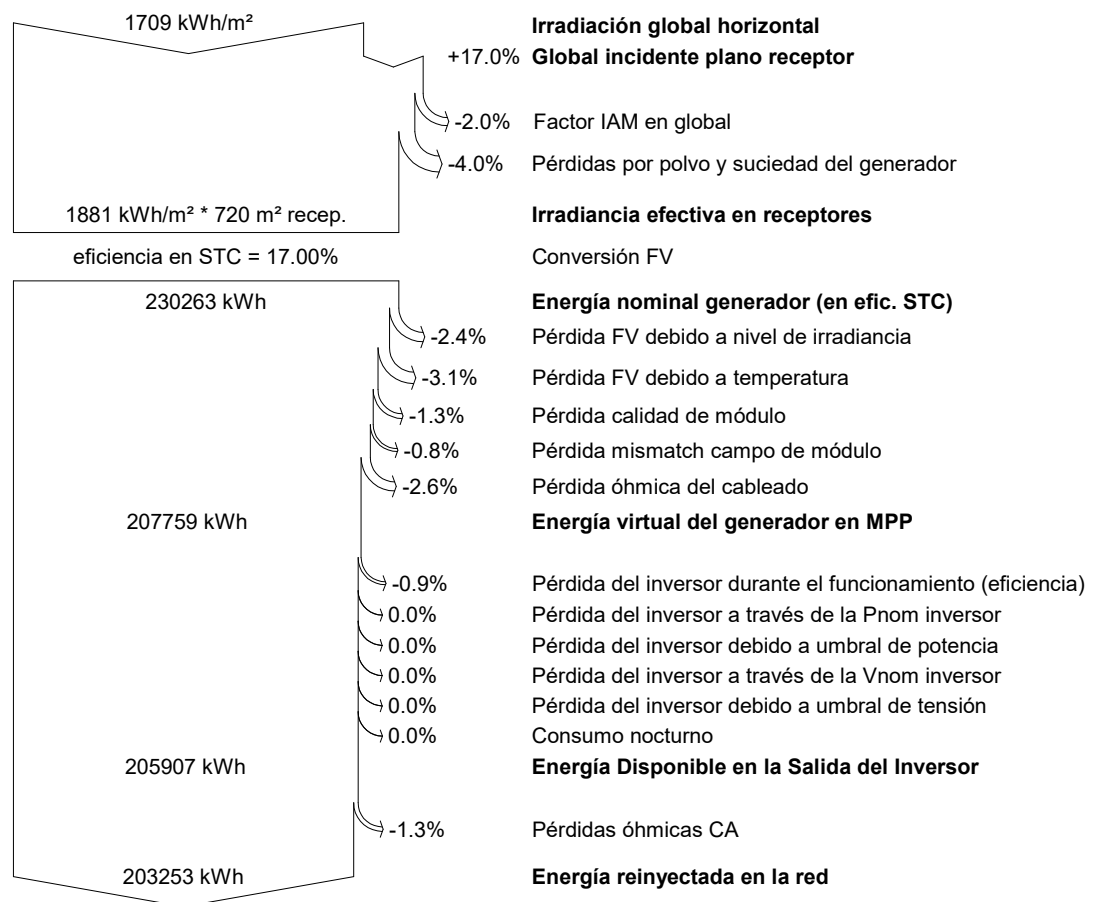
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : FME

Variante de simulación : FS-120/30°

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red		
Orientación Campos FV	inclinación	30°	acimut	-19°
Módulos FV	Modelo	FS-4120-3 May 2015	Pnom	120 Wp
Generador FV	N° de módulos	1000	Pnom total	120 kWp
Inversor	Modelo	SG50CX	Pnom	50.0 kW ac
Banco de inversores	N° de unidades	2.0	Pnom total	100 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVSYST V6.43					08/11/19	Página 1/4
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación						
Proyecto :		FME				
Lugar geográfico		FME		País	España	
Ubicación		Latitud	41.4°N	Longitud	2.1°E	
Hora definido como		Hora Legal	Huso hor. UT	Altitud	1 m	
		Albedo	0.20			
Datos climatológicos:		FME	PVGIS CM SAF, satélite 1998-2011 - Síntesis			
Variante de simulación : Nueva variante de simulación						
		Fecha de simulación	08/11/19 21h37			
Parámetros de la simulación						
Orientación Plano Receptor		Inclinación	30°	Acimut	-19°	
Modelos empleados		Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm	
Perfil obstáculos		Sin perfil de obstáculos				
Sombras cercanas		Sin sombreado				
Características generadores FV (3 Tipo de generador definido)						
Módulo FV		Si-poly	Modelo	TSM-280DD05A.08(II)		
Custom parameters definition			Fabricante	Trina Solar		
Sub-generador "Sub-generador #1"						
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	20 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos	200	Pnom unitaria	280 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC)	56.0 kWp	En cond. funciona.	50.6 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	285 V	I mpp	178 A	
Sub-generador "Sub-generador #2"						
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	12 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos	120	Pnom unitaria	280 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC)	33.6 kWp	En cond. funciona.	30.3 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	285 V	I mpp	107 A	
Sub-generador "Sub-generador #3"						
Número de módulos FV		En serie	10 módulos	En paralelo	20 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos	200	Pnom unitaria	280 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC)	56.0 kWp	En cond. funciona.	50.6 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	285 V	I mpp	178 A	
Total	Potencia global generadores	Nominal (STC)	146 kWp	Total	520 módulos	
		Superficie módulos	851 m²	Superf. célula	756 m²	
Sub-generador "Sub-generador #1" : Inversor Modelo SG50CX						
Custom parameters definition			Fabricante	Sungrow		
Características		Tensión Funciona.	200-1000 V	Pnom unitaria	50 kWac	
				Potencia máx. (=>40°C)	55 kWac	
Banco de inversores		N° de inversores	5 * MPPT 20 %	Potencia total	50 kWac	
Sub-generador "Sub-generador #2" : Inversor Modelo SG33CX						
Custom parameters definition			Fabricante	Sungrow		
Características		Tensión Funciona.	200-1000 V	Pnom unitaria	33.0 kWac	
				Potencia máx. (=>40°C)	36.3 kWac	
Banco de inversores		N° de inversores	3 * MPPT 33 %	Potencia total	33 kWac	

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación (continuación)

Sub-generador "Sub-generador #3" : Inversor Modelo **SG50CX**

Custom parameters definition

	Fabricante	Sungrow		
Características	Tensión Funciona.	200-1000 V	Pnom unitaria	50 kWac
			Potencia máx. ($\Rightarrow 40^{\circ}\text{C}$)	55 kWac
Banco de inversores	N° de inversores	5 * MPPT 20 %	Potencia total	50 kWac
Total	N° de inversores	3	Potencia total	133 kWac

Factores de pérdida Generador FV

Pérdidas por polvo y suciedad del generador			Fracción de Pérdidas	5.0 %
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (viento)	0.0 W/m ² K / m/s
Pérdida Óhmica en el Cableado	Generador#1	27 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
	Generador#2	45 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
	Generador#3	27 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
	Global		Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	-0.4 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	1.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05

Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red)

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : FME

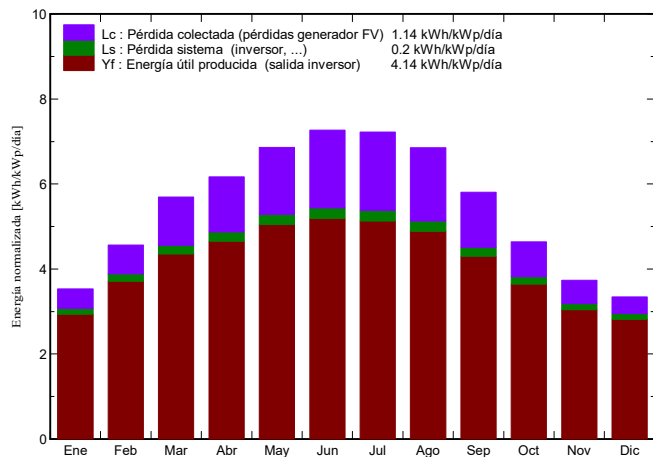
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV		inclinación	30°	acimut -19°
Módulos FV		Modelo	TSM-280DD05A.08(II)	Pnom 280 Wp
Generador FV		N° de módulos	520	Pnom total 146 kWp
Inversor		Modelo	SG50CX	Pnom 50.0 kW ac
Inversor		Modelo	SG33CX	Pnom 33.0 kW ac
Banco de inversores		N° de unidades	3.0	Pnom total 133 kW ac
Necesidades de los usuarios		Carga ilimitada (red)		

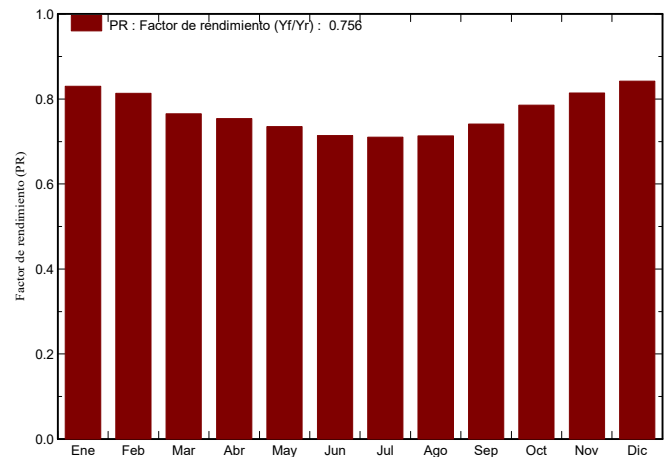
Resultados principales de la simulación

Producción del Sistema	Energía producida	220254 kWh/año	Produc. específico	1513 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	75.6 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 146 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
Enero	68.0	9.29	109.6	101.2	13878	13247	14.88	14.20
Febrero	87.5	9.47	127.7	118.1	15840	15133	14.57	13.92
Marzo	139.8	11.05	176.5	163.5	20582	19666	13.70	13.09
Abril	166.1	13.43	185.2	171.2	21279	20322	13.50	12.90
Mayo	211.0	16.62	212.8	196.4	23862	22779	13.17	12.58
Junio	226.4	20.68	218.0	201.0	23743	22659	12.80	12.21
Julio	228.8	23.61	223.8	206.3	24268	23143	12.74	12.15
Agosto	199.5	23.62	212.5	196.5	23150	22073	12.80	12.20
Septiembre	145.5	20.92	174.2	161.0	19699	18791	13.29	12.68
Octubre	104.5	17.58	143.8	132.8	17252	16448	14.09	13.44
Noviembre	71.5	12.79	112.0	103.4	13916	13277	14.60	13.93
Diciembre	60.6	9.74	103.7	95.6	13322	12715	15.09	14.40
Año	1709.2	15.77	1999.8	1846.9	230789	220254	13.56	12.94

Legendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	T Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	GlobInc	Global incidente plano receptor	EffArrR	Eficiencia Esal campo/superficie bruta
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EffSysR	Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

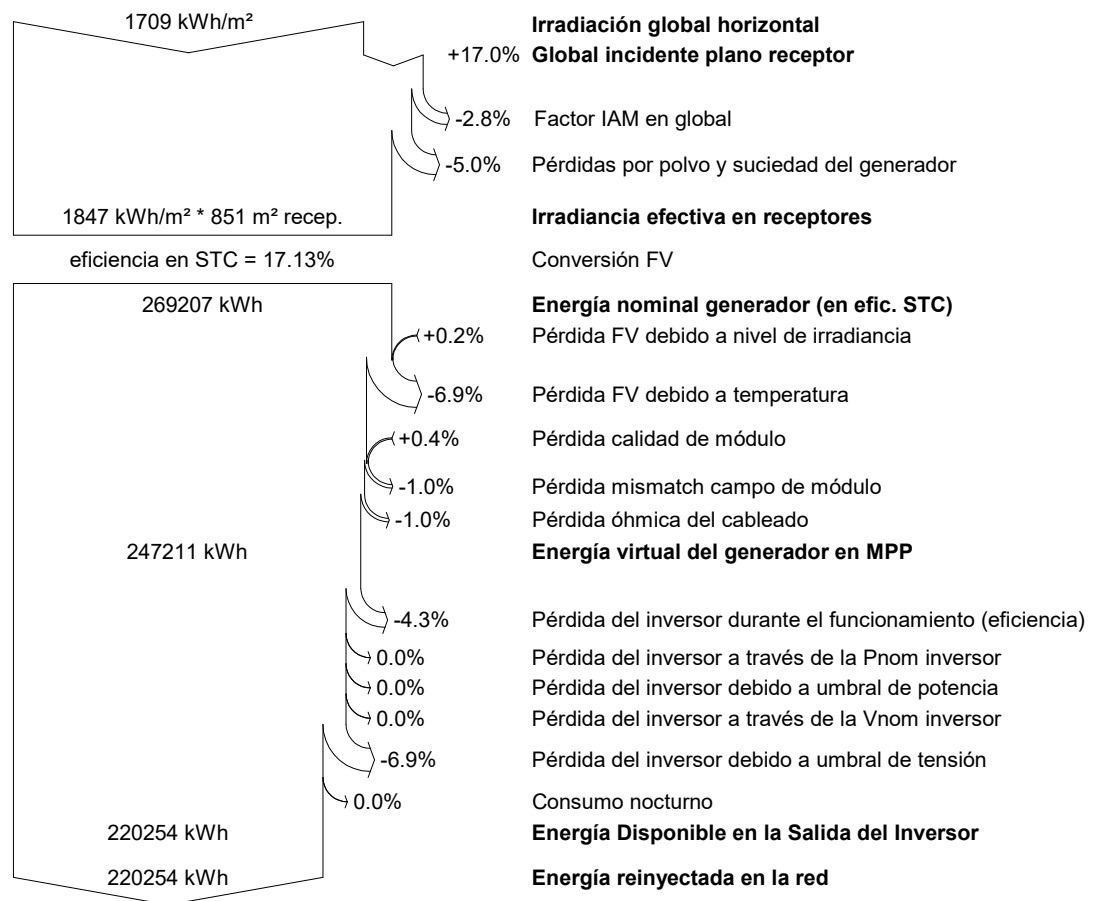
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : FME

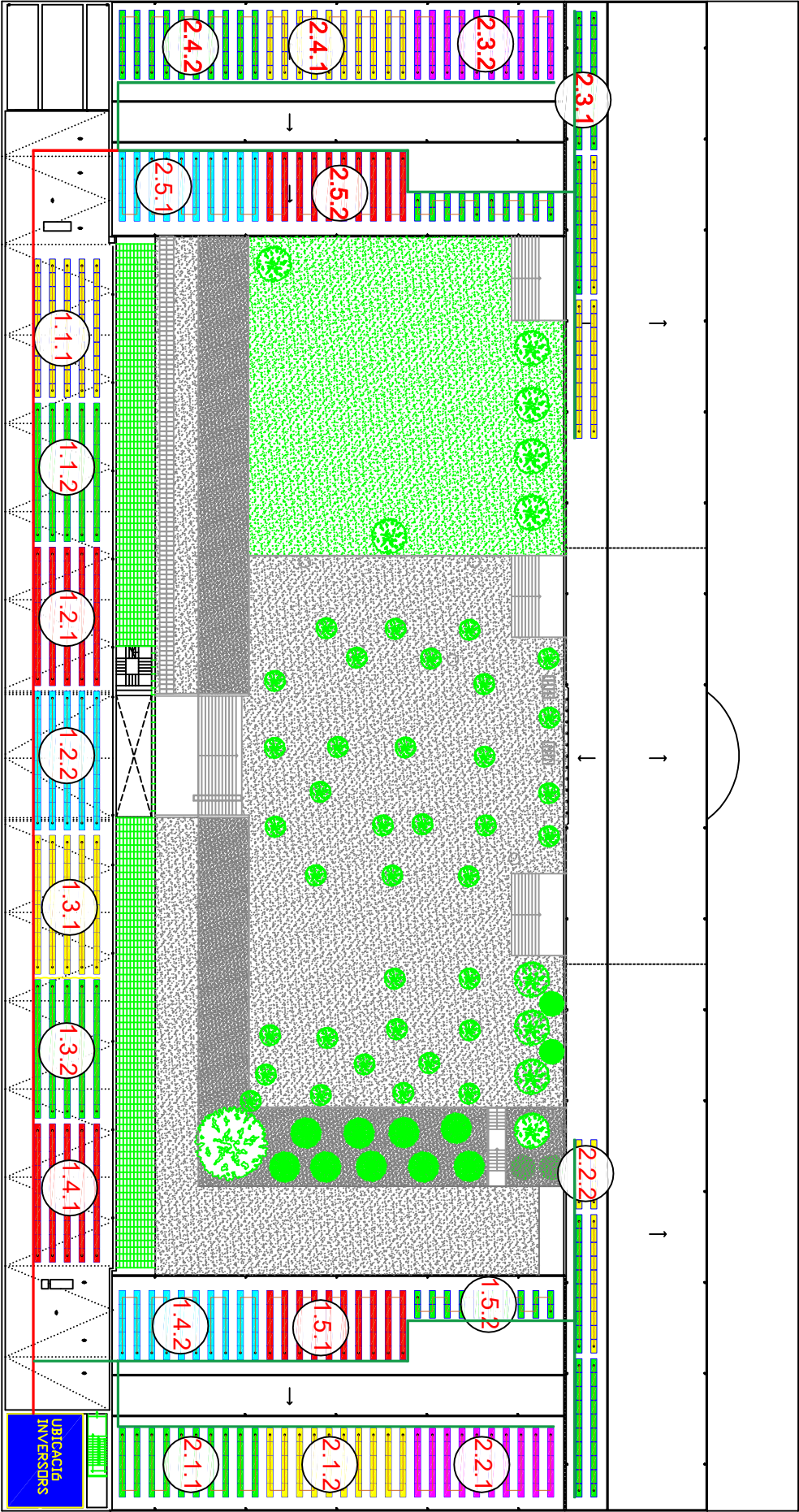
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación	30°	acimut -19°
Módulos FV	Modelo	TSM-280DD05A.08(II)	Pnom 280 Wp
Generador FV	N° de módulos	520	Pnom total 146 kWp
Inversor	Modelo	SG50CX	Pnom 50.0 kW ac
Inversor	Modelo	SG33CX	Pnom 33.0 kW ac
Banco de inversores	N° de unidades	3.0	Pnom total 133 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año



ANNEX B: PLÀNOLS



PLANOL N°:	ESCALA	S/N	DISSENYAT
1	FULL	DIN A3	2020

PROJECTE
Estudi i dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica d'autococonsum

SITUACIÓ
Carrer de Pau Gargallo, 14,
08028, Barcelona

DESCRIPCIÓ
Plànol distribució del mòdul

ANNEX C: FITXES TÈCNIQUES DEL COMPONENTS



**122.5 WATT MODULE
EFFICIENCY OF 17.0%**

INDUSTRY BENCHMARK SOLAR MODULES

As a global leader in PV energy, First Solar's advanced thin film solar modules have set the industry benchmark with over 17 gigawatts (GW) installed worldwide and a proven performance advantage over conventional crystalline silicon solar modules. Generating more energy than competing modules with the same power rating, First Solar's Series 4™ and Series 4A™ PV Modules deliver superior performance and reliability to our customers.



PROVEN ENERGY YIELD ADVANTAGE

- Generates more energy than conventional crystalline silicon solar modules with the same power due to superior temperature coefficient and superior spectral response
- Anti-reflective coated glass (Series 4A™) enhances energy production



ADVANCED PERFORMANCE & RELIABILITY

- Compatible with advanced 1500V plant architectures
- Independently certified for reliable performance in high temperature, high humidity, extreme desert and coastal environments
- Visit PlantPredict.com - The only Energy Prediction Software designed for Utility Scale PV



CERTIFICATIONS & TESTS

- PID-Free, Thresher Test, Long-Term Sequential Test, and ATLAS 25+¹
- IEC 61215/61646 1500V, IEC 61730 1500V, CE
- IEC 61701 Salt Mist Corrosion, IEC 60068-2-68 Dust and Sand Resistance
- ISO 9001:2015 and ISO 14001:2015
- UL 1703 Listed Fire Performance PV Module Type 10²
- CSI Eligible, FSEC, MCS, CEC Listed (Australia), SII, InMetro

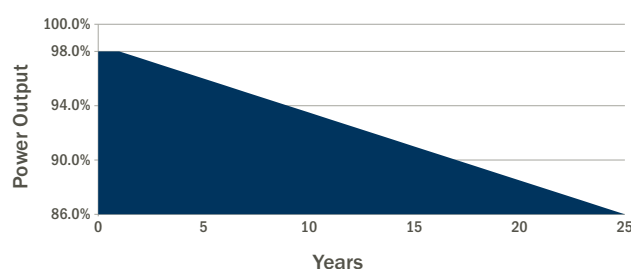


END-OF-LIFE RECYCLING

- Recycling services available through First Solar's industry-leading recycling program or customer-selected third party.



MODULE WARRANTY³



- 25-Year Linear Performance Warranty⁴
- 10-Year Limited Product Warranty

FIRST SOLAR SERIES 4™ PV MODULE

MECHANICAL DESCRIPTION

Length	1200mm
Width	600mm
Weight	12kg
Thickness	6.8mm
Area	0.72m ²
Individual Leadwire	2.5mm ² , 657mm (minimum from strain relief to connector mating surface)
Connectors	MC4 or MC4-EVO 2 ⁹
Bypass Diode	None
Cell Type	Thin-film CdTe semiconductor, up to 216 cells
Frame Material	None
Front Glass	3.2mm heat strengthened Series 4A™ includes anti-reflective coating
Back Glass	3.2mm tempered
Encapsulation	Laminate material with edge seal
Load Rating	2400Pa ¹⁰

MODULE NUMBERS AND RATINGS AT STANDARD TEST CONDITIONS (1000W/m², AM 1.5, 25°C)⁵

NOMINAL VALUES		FS-4110-3 FS-4110A-3	FS-4112-3 FS-4112A-3	FS-4115-3 FS-4115A-3	FS-4117-3 FS-4117A-3	FS-4120-3 FS-4120A-3	FS-4122-3 FS-4122A-3
Nominal Power ⁶ (-0/+5W)	P _{MPP} (W)	110.0	112.5	115.0	117.5	120.0	122.5
Voltage at P _{MAX}	V _{MPP} (V)	67.8	68.5	69.3	70.1	70.8	71.5
Current at P _{MAX}	I _{MPP} (A)	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70	1.71
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	86.4	87.0	87.6	88.1	88.7	88.7
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	1.82	1.83	1.83	1.83	1.84	1.85
Module Efficiency	%	15.3	15.6	16.0	16.3	16.7	17.0
Maximum System Voltage	V _{SYST} (V)	1500 ^{7,8}					
Limiting Reverse Current	I _R (A)	4.0					
Maximum Series Fuse	I _{CF} (A)	4.0					

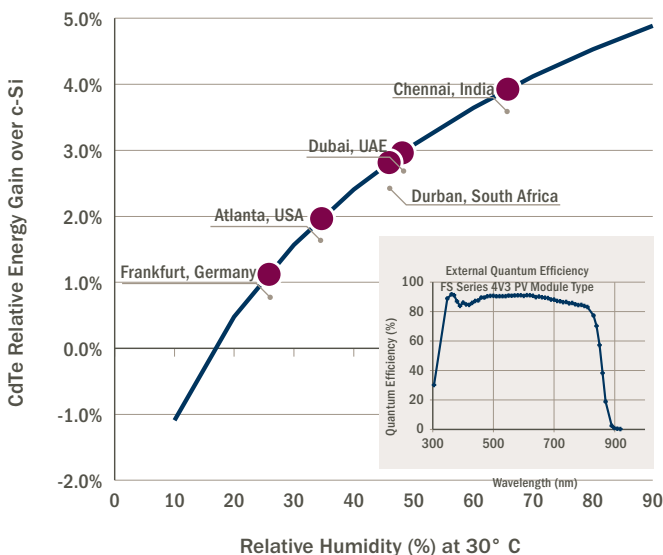
RATINGS AT NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE OF 45°C (800W/m², 20°C air temperature, AM 1.5, 1m/s wind speed)⁵

Nominal Power	P _{MPP} (W)	83.2	85.1	87.0	89.0	90.8	92.7
Voltage at P _{MAX}	V _{MPP} (V)	63.5	64.5	64.9	65.9	66.3	67.2
Current at P _{MAX}	I _{MPP} (A)	1.31	1.32	1.34	1.35	1.37	1.38
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	81.6	82.1	82.7	83.2	83.7	83.7
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.49

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Module Operating Temperature Range	(°C)	-40 to +85
Temperature Coefficient of P _{MPP}	T _K (P _{MPP})	-0.28%/°C [Temperature Range: 25°C to 75°C]
Temperature Coefficient of V _{OC}	T _K (V _{OC})	-0.28%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	T _K (I _{SC})	+0.04%/°C

SUPERIOR SPECTRAL RESPONSE



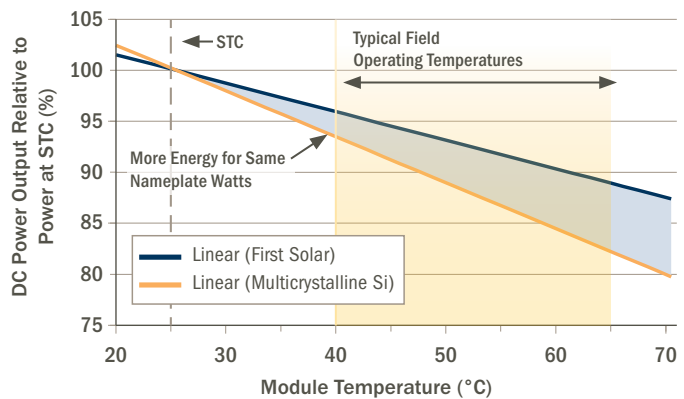
- Device package meets Atlas 25+
- Class A Spread of Flame / Class B Burning Brand. Roof mounted fire rating is established by assessing rack and solar module as a unit
- Limited power output and product warranties subject to warranty terms and conditions
- Ensures 98% rated power in first year, -0.5%/year through year 25
- All ratings $\pm 10\%$, unless specified otherwise. Specifications are subject to change
- Measurement uncertainty applies
- UL 1703 1500V Listed / ULC 1703 1000V Listed
- Application Class A for 1000V (class II), Application Class B for 1500V (class O) with MC4; Application Class A for 1000V and 1500V (class II) with MC4-EVO 2
- Multi-Contact: MC4 (PV-KST4/PV-KBT4) or MC4-EVO 2 (PV-KST-EVO 2 / PV-KBT-EVO 2).
- Higher load ratings can be met with additional clips or wider clips, subject to testing

Disclaimer

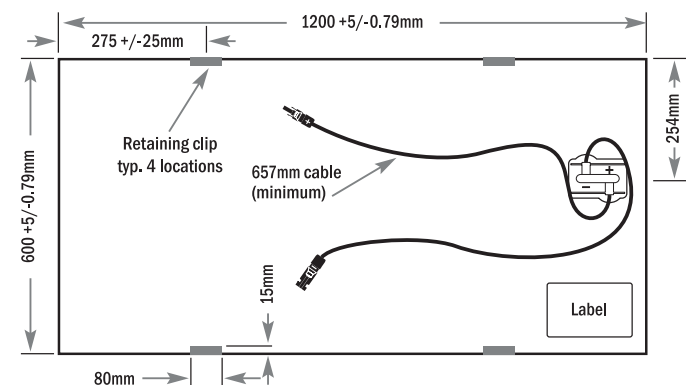
The information included in this Module Datasheet is subject to change without notice and is provided for informational purposes only. No contractual rights are established or should be inferred because of user's reliance on the information contained in this Module Datasheet. Please refer to the appropriate Module User Guide and Module Product Specification document for more detailed technical information regarding module performance, installation and use.

The First Solar logo, First Solar™, and all products denoted with * are registered trademarks, and those denoted with a ™ are trademarks of First Solar, Inc.

SUPERIOR TEMPERATURE COEFFICIENT



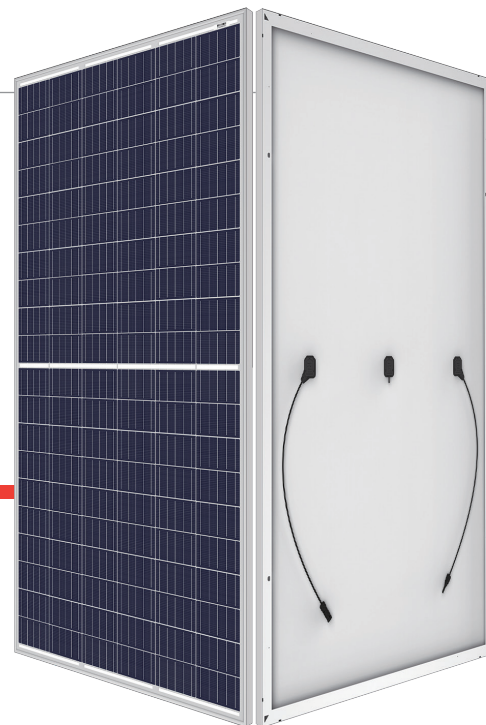
MECHANICAL DRAWING



SPLITMAX

THE FRAMED 120-CELL MODULE (1500V)

TSM-PE05H



120 CELL
MULTICRYSTALLINE MODULE

280-290W
POWER OUTPUT RANGE

17.5%
MAXIMUM EFFICIENCY

0/+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy. We believe close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar now distributes its PV products to over 60 countries all over the world. Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and supplement our innovative, reliable products with the backing of Trina Solar as a strong, bankable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaboration with installers, developers, distributors and other partners.

Comprehensive Product And System Certificates

IEC61215/IEC61730/UL1703/IEC61701/IEC62716
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO14064: Greenhouse Gas Emissions Verification
 OHSAS 18001: Occupational Health and Safety Management System



Ideal for large scale installations

- Anti-shading design
- Reduce BOS cost by connecting more modules in a string
- 1500V IEC certified



Half-cell design brings higher efficiency

- Half-Cell layout (120 multicrystalline)
- LRF integrated to gain more power, need avoid light sensitive case
- Low thermal coefficients for greater energy production at high operating temperatures



Highly reliable due to stringent quality control

- Over 30 in-house tests (UV, TC, HF, and many more)
- In-house testing goes well beyond certification requirements
- PID resistant
- 100 % EL double inspection

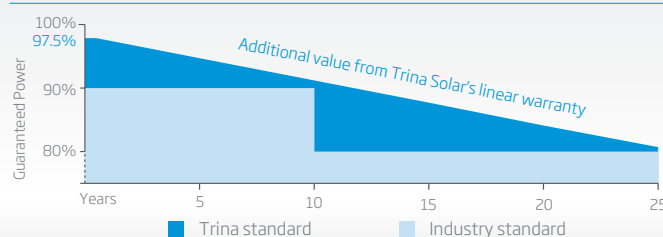


Certified to withstand challenging environmental conditions

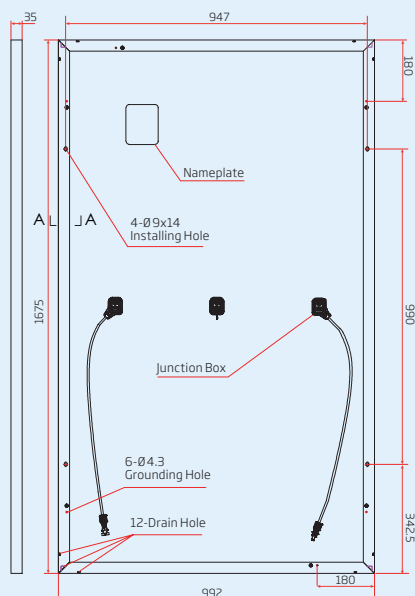
- 2400 Pa wind load
- 5400 Pa snow load

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

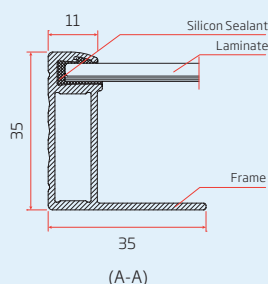
10 Year Product Warranty · 25 Year Linear Power Warranty



DIMENSIONS OF PV MODULE TSM-PE05H (unit: mm)

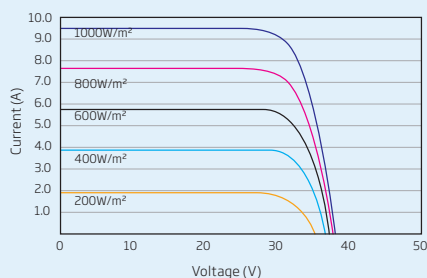


Back View

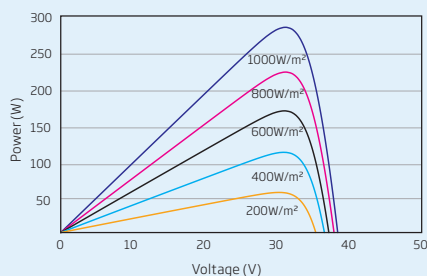


(A-A)

I-V CURVES OF PV MODULE (285W)



P-V CURVES OF PV MODULE (285W)



ELECTRICAL DATA @ STC

	TSM-280 PE05H	TSM-285 PE05H	TSM-290 PE05H
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	280	285	290
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	31.3	31.4	31.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	8.95	9.08	9.20
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	38.7	38.8	39.0
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.40	9.45	9.50
Module Efficiency η_m (%)	16.9	17.2	17.5

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25 °C, Air Mass AM1.5

* Measuring tolerance: $\pm 3\%$

ELECTRICAL DATA @ NOCT

	TSM-280 PE05H	TSM-285 PE05H	TSM-290 PE05H
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	207	211	215
Maximum Power Voltage- U_{MPP} (V)	29.1	29.4	29.7
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	7.11	7.18	7.24
Open Circuit Voltage- U_{OC} (V)	35.8	35.9	36.1
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	7.59	7.63	7.67

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20 °C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Multicrystalline 156.75 × 78.375 mm
Cell Orientation	120 cells (12 × 10)
Module Dimensions	1675 × 992 × 35 mm
Weight	18.8 kg
Glass	3.2 mm, high transparency, AR coated and heat tempered solar glass
Backsheet	White
Frame	Silver Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 67 or IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm², Portrait: N 140mm/P 285mm, Landscape: N 1200 mm /P 1200 mm
Connector	MC4 EVO2/UTX/TS4

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	44°C (±2K)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	- 0.41%/K
Temperature Coefficient of V_{OC}	- 0.32%/K
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.05%/K

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC)
Max Series Fuse Rating*	15A
Mechanical Load	5400 Pa
Wind Load	2400 Pa

* DO NOT connect fuse in combiner box with two or more strings in parallel connection

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty

25 year Linear Performance Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box:	30 pieces
Modules per 40' container:	780 pieces

SG33CX/SG40CX/SG50CX New

Multi-MPPT String Inverter for 1000 Vdc System



High Yield

- 5 MPPTs with max. efficiency 98.7%
- Compatible with bifacial module
- Built-in PID recovery function



Smart O&M

- Touch free commissioning and remote firmware upgrade
- Online IV curve scan and diagnosis
- Fuse free design with smart string current monitoring



Low Cost

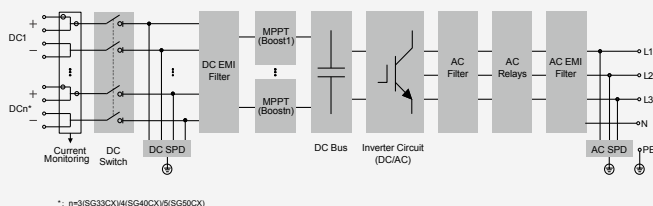
- Compatible with Al and Cu AC cables
- DC 2 in 1 connection enabled
- Cable free communication with optional Wi-Fi



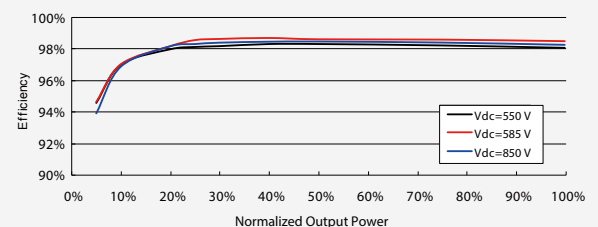
Proven Safety

- IP66 and C5 protection
- Type II SPD for both DC and AC
- Compliant with global safety and grid code

Circuit Diagram



Efficiency Curve



Input (DC)	SG33CX	SG40CX	SG50CX
Max. PV input voltage	1100 V		
Min. PV input voltage / Start-up input voltage	200 V / 250 V		
Nominal PV input voltage	585 V		
MPP voltage range	200 – 1000 V		
MPP voltage range for nominal power	550 – 850V		
No. of independent MPP inputs	3	4	5
Max. number of PV strings per MPPT	2		
Max. PV input current	78 A	104 A	130 A
Max. current for input connector	30 A		
Max. DC short-circuit current	120 A	160 A	200 A
Output (AC)	SG33CX	SG40CX	SG50CX
AC output power	36.3 kVA @ 40 °C / 33 kVA @ 45 °C	44 kVA @ 40 °C / 40 kVA @ 45 °C	55 kVA @ 40 °C / 50 kVA @ 45 °C
Max. AC output current	55.2 A	66.9 A	83.6 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 230 / 400 V		
AC voltage range	312 – 528 V		
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz		
THD	< 3 % (at nominal power)		
DC current injection	< 0.5 % In		
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging		
Feed-in phases / connection phases	3 / 3		
Efficiency	SG33CX	SG40CX	SG50CX
Max. efficiency / European efficiency	98.6 % / 98.3 %	98.6 % / 98.3 %	98.7 % / 98.4 %
Protection	SG33CX	SG40CX	SG50CX
DC reverse connection protection	Yes		
AC short circuit protection	Yes		
Leakage current protection	Yes		
Grid monitoring	Yes		
DC switch / AC switch	Yes / No		
PV String current monitoring	Yes		
Q at night	Yes		
PID recovery function	optional		
Overvoltage protection	DC Type II / AC Type II		
General Data	SG33CX	SG40CX	SG50CX
Dimensions (W*H*D)	702*595*310mm	782*645*310mm	782*645*310mm
Weight	50 kg	58 kg	62 kg
Isolation method	Transformerless		
Degree of protection	IP66		
Night power consumption	≤2 W		
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C (> 45 °C derating)		
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %		
Cooling method	Smart forced air cooling		
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)		
Display	LED, Bluetooth+APP		
Communication	RS485 / Optional: Wi-Fi, Ethernet		
DC connection type	MC4 (Max. 6 mm²)		
AC connection type	OT or DT terminal (Max.70 mm²)		
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4105:2018, VDE-AR-N 4110:2018, IEC 61000-6-3, EN 50438, AS/NZS 4777.2:2015, CEI 0-21, VDE 0126-1-1/A1 VFR 2014, UTE C15-712-1:2013, DEWA		
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control		

